

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.2:004.421.5:004.7

**В. Н. ЗАДОРОВЫЙ  
Т. Р. ЗАХАРЕНКОВА**

Омский государственный  
технический университет

## **МИНИМИЗАЦИЯ РИСКА ПОТЕРИ СООБЩЕНИЙ В СЕТЯХ С ФРАКТАЛЬНЫМ ТРАФИКОМ**

Решается проблема повышения качества информационного обслуживания в сетях передачи данных с фрактальным трафиком. Цель исследования — разработка методов обеспечения низкой вероятности потерь сообщений. В терминах теории массового обслуживания формулируется и решается задача структурной оптимизации сетей с фрактальным трафиком. Выполняются необходимые теоретические исследования и имитационные эксперименты. Разрабатываются методы определения числа каналов в узлах, гарантирующего заданную низкую вероятность потерь. Эти методы могут непосредственно использоваться проектировщиками телекоммуникационных сетей.

**Ключевые слова:** телекоммуникационные сети, теория очередей, фрактальный трафик, структурная оптимизация.

**1. Введение.** Исследования в области телекоммуникационных систем показали, что трафик современных сетей передачи данных имеет фрактальную (самоподобную) структуру [1]. Случайные переменные, которыми описывают такой трафик, задаются распределениями с тяжелыми хвостами (РТХ) [2]. Свойства РТХ порождают специфические трудности, с которыми приходится сталкиваться

при измерениях трафика [3] и проектировании сетевых устройств.

При проектировании сетевых устройств на системном уровне они представляются в виде систем массового обслуживания (СМО) [4, 5]. Фрактальными СМО мы называем такие системы класса  $GI/GI/n/m$ , в которых интервалы поступления заявок и/или время их обслуживания принад-

лежат степенным РТХ и при этом имеют конечное математическое ожидание (м.о.) и бесконечную дисперсию. Коэффициент загрузки  $\rho$  рассматриваемых СМО меньше единицы:  $\rho = \lambda b/n < 1$ , где  $b < \infty$  — среднее время обслуживания заявки,  $\lambda = 1/a$  — интенсивность входящего потока заявок,  $a < \infty$  — среднее время между приходами заявок,  $n$  — число каналов в системе. Системы GI/GI/n/m, задаваемые только распределениями с легкими хвостами, будем называть классическими. Соответственно, если сеть массового обслуживания (СМО) описывается случайными величинами, хотя бы одна из которых принадлежит степенной РТХ с бесконечной дисперсией, то эту сеть будем называть фрактальной.

Характерными представителями фрактальных СМО являются системы Pa/M/n/m, M/Pa/n/m и Pa/Pa/n/m. Символ Pa обозначает распределение Парето:

$$F(t) = 1 - (K/t)^\alpha, \quad \alpha > 0, K > 0, t \geq K,$$

где  $\alpha$  — параметр формы,  $K$  — наименьшее значение случайной величины (с.в.) и, одновременно, масштабный параметр. Сокращенно распределение Парето с параметрами  $K, \alpha$  будем обозначать как Pa(K;  $\alpha$ ). Типичный для фрактального трафика диапазон значений  $\alpha$  определяется неравенством  $1 < \alpha \leq 2$ . При таких  $\alpha$  распределение Парето имеет конечное м.о., равное  $\alpha K/(\alpha - 1)$ , и бесконечную дисперсию. Основным методом расчета фрактальных систем является имитационное моделирование [6, 7].

При моделировании фрактальных очередей возникают трудности, связанные со скрытым дефектом реализации РТХ — смещением его моментов [8]. В статье [9] проблема корректной реализации РТХ в моделировании решена в общем виде за счет создания генератора случайных чисел (ГСЧ) ARAND (Accurate RAND), эффективно использующего известные хорошо проверенные ГСЧ. Моделирование, результаты которого используются ниже, выполнялось с применением метода ARAND и ГСЧ «Вихрь Мерсенна».

Наряду с этим использовались широко известные классические методы обеспечения требуемой точности результатов моделирования [10]. С учетом сказанного такое моделирование далее будет называться высокоточным.

**2. Задача исследования.** Дополним введенные выше обозначения следующими:  $A(t)$  — функция распределения вероятностей (ф.р.) интервалов поступления заявок,  $\sigma^2$  — ее дисперсия,  $B(t)$  — ф.р. времени обслуживания.

Рассмотрим фрактальную систему M/Pa/1. Средняя длина  $L$  очереди в ней, согласно формуле Полячека — Хинчина [4], здесь при любом  $\rho > 0$  составляет

$$L = \frac{\lambda^2 b^{(2)}}{2(1-\rho)} = \infty,$$

поскольку второй момент  $b^{(2)}$  времени обслуживания, распределенного здесь по закону Парето при  $1 < \alpha \leq 2$ , бесконечен. Этот пример поясняет, почему при конечном буфере (т.е. в системе M/Pa/1/m) снижение вероятности потери заявки за счет выбора достаточно большого размера  $m$  буфера и/или за счет повышения быстродействия канала оказывается малоэффективным.

В [11] проблема снижения вероятности потерь рассматривается более детально. В [12] показано, что при фрактальном трафике стратегия борьбы с потерями заявок за счет увеличения буферов и/или ускорения каналов крайне неэффективна. Высказана и путем моделирования обоснована гипотеза, что радикальное снижение вероятности потерь может быть обеспечено увеличением числа каналов в СМО. Теоретическая задача, которая решается в данной статье, состоит в исследовании эффективности этого метода в условиях фрактального трафика. Прикладной задачей статьи является разработка соответствующего метода структурной оптимизации фрактальных сетей.

**3. Асимптотика вероятности потерь в классических многоканальных СМО.** В классической системе с бесконечным числом каналов GI/GI/ $\infty$  оба распределения  $A(t), B(t)$  имеют конечную дисперсию. Недавно доказано [13], что в таких СМО с ростом нагрузки распределение  $p_k$  вероятностей числа  $k$  занятых каналов сходится к гауссову распределению  $N(\bar{k}, \sigma_k)$ , т. е.  $p_k \rightarrow g_k$ ,

$$g_k = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k}} \exp\left[-\frac{(k-\bar{k})^2}{2\sigma_k^2}\right], \quad (1)$$

где  $\bar{k} = \lambda b$ ,  $\sigma_k^2 = \lambda b + \kappa\beta$ ,  $\kappa = \lambda^3(\sigma^2 - a^2)$ ,  $\beta = \int_0^\infty [1 - B(\tau)]^2 d\tau$ .

На практике возникает задача выбора такого наименьшего числа  $n$  каналов, которое при отсутствии буфера для хранения заявок (т. е. при  $m = 0$ ) обеспечивало бы малую вероятность потери заявки, не превосходящую заданной величины  $Q$ . Назовем эту задачу задачей нахождения  $n(Q)$ , подразумевая, что  $Q$  — достаточно малая вероятность (например,  $10^{-4}$  или  $10^{-15}$ ). При известном для исходной системы GI/GI/ $\infty$  распределении  $p_k$  задачу нахождения  $n(Q)$  можно переформулировать и решать как задачу нахождения наименьшего  $n$ , удовлетворяющего условию  $P(k > n) \leq Q$ , т.е. условию  $1 - P(k \leq n) \leq Q$ . Рассматривая  $k, n, P(k \leq n)$  как непрерывные величины, мы можем просто найти такое  $n$ , при котором  $1 - P(k \leq n) = Q$ , т.е. решить при заданном малом  $Q$  уравнение

$$1 - F(n) = Q, \quad (2)$$

где  $F(n)$  — ф.р. с.в.  $k$ .

При большой нагрузке (т.е. при большом  $\lambda b$ ) задача (2) нахождения  $n(Q)$  может решаться за счет применения гауссовой аппроксимации (1) распределения  $p_k$  [13].

Рассмотрим конкретный пример — систему  $\Gamma_1/\Gamma_2/\infty$ , в которой гамма-распределение [14]  $\Gamma_1$  имеет параметры  $\alpha_1 = 1/3, \beta_1 = 2/3$  и гамма-распределение  $\Gamma_2$  — параметры  $\alpha_2 = 1/3, \beta_2 = 1/30$ . Следовательно, м.о. интервалов поступления заявок  $\lambda^{-1} = a = \alpha_1/\beta_1 = 1/2$ , и дисперсия этих интервалов  $\sigma^2 = \alpha_1/\beta_1^2 = 3/4$ . Среднее время обслуживания в этой системе  $b = \alpha_2/\beta_2 = 10$ . Далее, используя формулы (1), последовательно найдем  $\bar{k} = \lambda b = 20$ ,  $\kappa = \lambda^3(\sigma^2 - a^2) = 4$ ,  $\beta = 2,86826\dots$  (наиболее сложная для расчета величина),  $\sigma_k^2 \approx \lambda b + \kappa\beta = 31,47304$ .

Параметры  $\bar{k}, \sigma_k$  гауссовой аппроксимации  $g_k$  распределения  $p_k$  найдены, и можно решать задачу (2). Одновременно с гауссовой аппроксимацией  $g_k$  посредством высокоточного моделирования найдено действительное распределение  $p_k$ . Оба

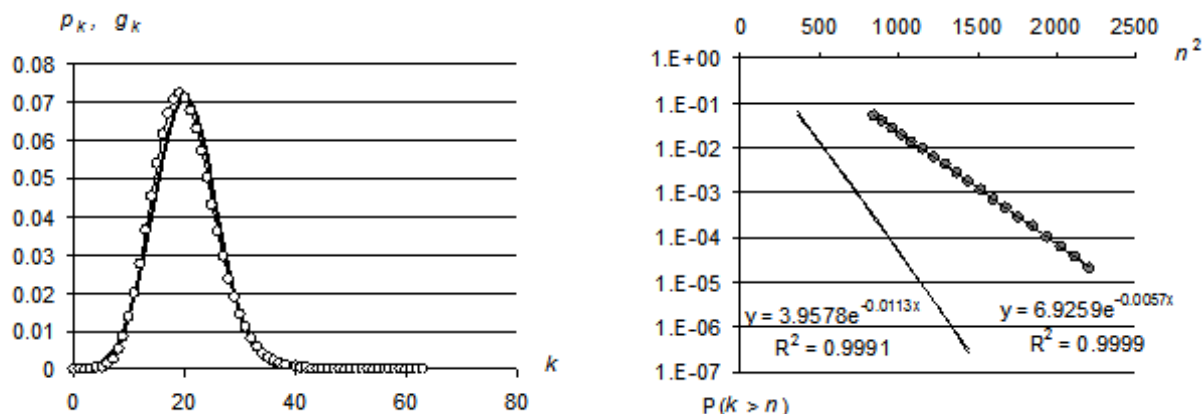


Рис. 1. Слева: распределение  $p_k$  (линия с маркерами) и его гауссова аппроксимация  $g_k$ ; справа — хвост  $Q = 1 - F(n) = P(k > n)$  распределения  $F(n)$ , рассчитанный на основе действительного распределения  $p_k$  (линия с маркерами) и на основе его гауссовой аппроксимации  $g_k$

распределения показаны на рис. 1 слева. Справа на рис. 1 показаны найденные по распределениям  $p_k$  и  $g_k$  зависимости величины  $1 - F(n)$  от  $n^2$ , вместе с соответствующими линиями и уравнениями тренда. Близкие к единице значения коэффициентов достоверности  $R^2$  свидетельствуют о достаточно высокой точности полученных уравнений.

Из рис. 1 видно, что использование аппроксимации  $g_k$  приводит к занижению вероятности  $1 - F(n)$  на несколько порядков.

Сравним теперь результаты решения задачи (2), получаемые на основе распределений  $p_k$  и  $g_k$ . Используя построенное на основе действительного распределения  $p_k$  уравнение тренда (см. рис. 1), запишем

$$1 - F(n) = P(k > n) = 6,9259e^{-0,057n^2}.$$

С учетом этой формулы уравнение (2) принимает вид:

$$6,9259e^{-0,0057n^2} = Q.$$

Решая его относительно  $n$ , получаем:

$$n = \sqrt{-175,4 \ln Q + 339,5}. \quad (3)$$

Аналогичное решение, основанное на гауссовой аппроксимации  $g_k$  (см. рис. 1), дает формулу

$$n = \sqrt{-88,5 \ln Q + 121,7}. \quad (4)$$

Решения (3) и (4) сравниваются на рис. 2.

В целом, выполненное исследование конкретной классической многоканальной системы показывает, что, во-первых, можно эффективно обеспечить малую вероятность потерь за счет наращивания числа каналов, даже не используя буфер для хранения заявок; во-вторых, для решения задачи обеспечения малой вероятности потерь в общем случае следует предпочесть моделирование применению асимптотических аппроксимаций; в-третьих, уменьшение вероятности потерь на несколько порядков достигается за счет относительно небольшого повышения избыточности числа каналов (см. рис. 2).

**4. Фрактальные многоканальные СМО.** В качестве примера, характеризующего асимптотику вероятностей  $p_k$  фрактальных СМО, приведем (см. рис. 3) распределение  $p_k$  для системы Pa/Pa/∞,

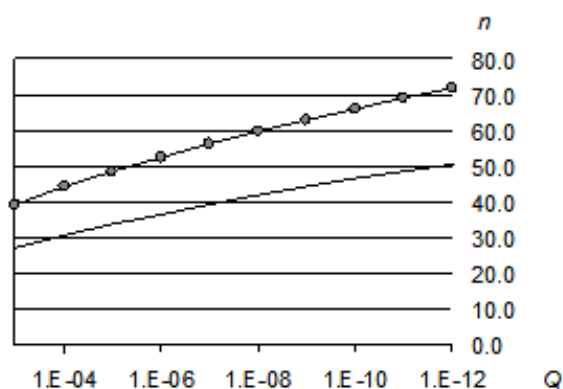


Рис. 2. Решение задачи (2), основанное на распределении  $p_k$  (линия с маркерами) и решение, основанное на гауссовой аппроксимации  $g_k$

в которой интервалы поступления заявок описываются законом Pa(1/5; 1,25), а время обслуживания — законом с менее тяжелым хвостом Pa(10/3; 1,5). В этой системе  $\lambda = 1$ ,  $b = 10$ . При моделировании через нее прошло более 100 млн заявок.

На рис. 3 справа для малых вероятностей  $Q$  превышения заданного числа  $n$  каналов показана линия тренда, описываемая уравнением

$$Q = 25,19e^{-0,0133n^2}.$$

Используя его, находим решение задачи (2) в виде  $n = \sqrt{-75,19 \ln Q + 242,59}$ . В соответствии с этим для обеспечения, например, вероятности потерь  $Q = 10^{-6}$  достаточно установить в системе 35,8, т.е. 36 каналов.

Многочисленные имитационные эксперименты повышенной точности с разнообразными фрактальными системами GI/GI/∞ показывают, что зависимость  $Q(n)$  с ростом  $n$  в любой такой системе при большой (порядка  $\lambda b = 10$ ) нагрузке с высокой точностью описывается формулой

$$Q(n) \sim c_0 e^{-Cn^2}, \quad (5)$$

где  $c_0$ ,  $C$  — некоторые константы, свои для каждой конкретной системы. Приближение (5) позволяет рекомендовать для борьбы с потерями заявок наращивание числа каналов в системе как эффективную

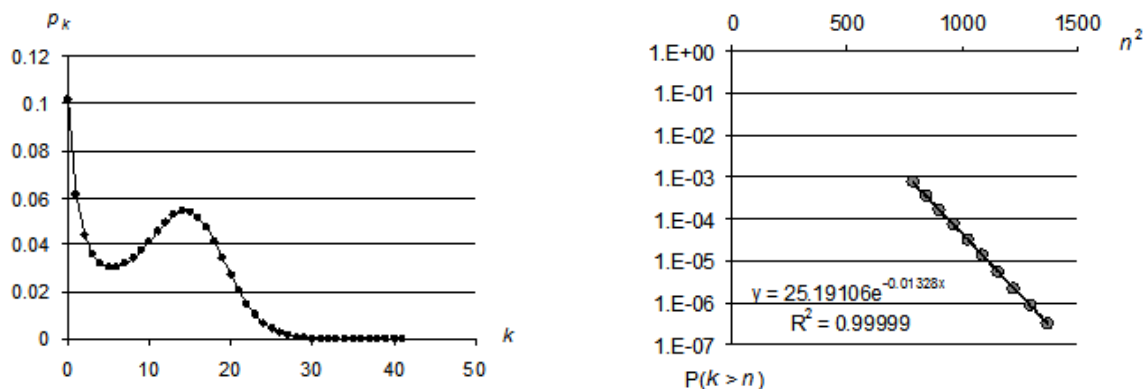


Рис. 3. Слева — распределение  $p_k$  в рассматриваемой системе  $Pa/Pa/\infty$ ; справа — линия тренда зависимости  $P(k > n)$  от  $n^2$  в системе  $Pa/Pa/\infty$

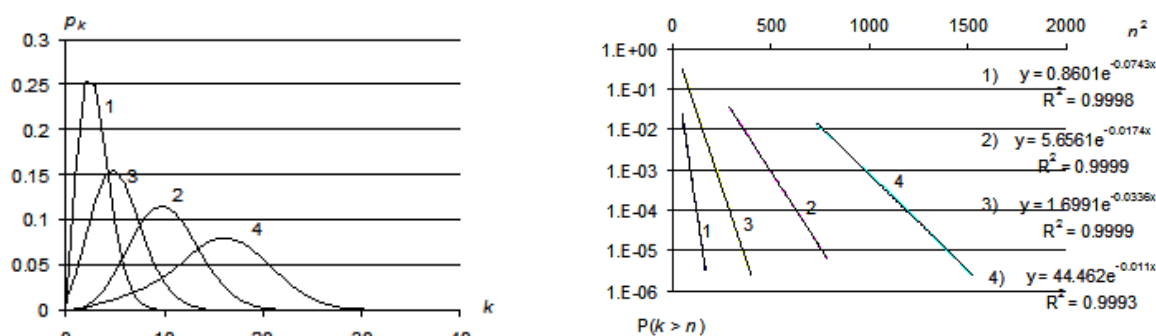


Рис. 4. Слева — распределения вероятностей состояний узлов 1–4 сети; справа — линии тренда зависимостей  $P(k > n)$  от  $n^2$  для узлов сети

универсальную стратегию. При этом даже при весьма малых  $Q$  избыточность числа каналов (по сравнению со средним числом  $\lambda b$  используемых каналов) оказывается относительно невысокой.

**5. Фрактальные СеМО с многоканальными узлами.** Имитационные эксперименты с различными СеМО, содержащими многоканальные узлы без буферов, показывают, что приближение (5) с высокой точностью выполняется и для узлов таких сетей.

В качестве примера на рис. 4 слева приведены распределения вероятностей состояний четырех узлов сети, полученной модификацией соответствующей четырехузловой сети, описанной в [13]. При модификации сохранены маршрутная матрица  $M$  сети:

$$M = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,4 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0,4 & 0,1 & 0,2 \\ 0,1 & 0 & 0,2 & 0,1 \\ 0,3 & 0,2 & 0,5 & 0 \end{pmatrix}$$

и бесконечное число каналов в каждом узле. Входящий поток и время обслуживания в каждом узле изменены, и заданы следующим образом. Извне в сеть поступают четыре входящих потока. В первый узел извне поступает регулярный поток с интенсивностью 2. Во второй узел — пуассоновский поток с интенсивностью 2. В третий узел — поток с интервалами поступления, распределенными по закону  $Pa(0,2; 1,25)$ . И в четвертый узел — поток с интервалами поступления, распределенными по закону  $Pa(1/15; 1,5)$ .

Время обслуживания в первом узле детерминированное и равно 0,5. Во втором узле оно распределено экспоненциально со средним 1. В третьем узле — по закону  $Pa(1/6; 1,5)$ . В четвертом узле — по закону  $Pa(0,4; 1,25)$ .

На рис. 4 справа приведены полученные в результате моделирования зависимости вероятностей  $P(k > n)$  от  $n^2$  для всех четырех узлов в виде соответствующих линий тренда и их уравнений.

Результаты эксперимента подтверждают гипотезу о хорошей точности приближения (5) не только в изолированных системах, но и в узлах сетей. Наиболее значимым в законе (5) является то, что наращивание числа каналов в узлах при относительно небольшой их избыточности приводит к резкому снижению вероятности потерь. Это при обслуживании фрактального трафика кардинально отличает стратегию наращивания числа каналов от стратегии увеличения объема буферов и/или производительности каналов, которая при степенных РТХ с бесконечной дисперсией совершенно бесперспективна [12].

**6. Задача и метод оптимального распределения каналов.** Пусть заданы маршрутная матрица сети, распределения вероятностей  $B_i(t)$  времени обслуживания в узлах  $i$  ( $i = 1, \dots, M$ ), входящий поток (входящие потоки) заявок. Буферы для хранения заявок в узлах сети отсутствуют. Требуется распределить  $N$  каналов ( $N \gg M$ ) по узлам сети таким образом, чтобы минимизировать сумму вероятностей потерь в узлах.

Задача оптимального распределения каналов возникает при построении (развитии) телекомму-

никационной сети с фрактальным трафиком, если используется стратегия наращивания числа каналов в узлах. Какое бы число каналов ни имелось в нашем распоряжении, на практике оно всегда конечно, и от того, как мы распределим эти каналы по узлам, зависит эффективность их использования.

С учетом найденного результата (5) формально задачу оптимального распределения каналов можно переписать следующим образом:

$$\sum_{i=1}^M Q_i(n_i) = \sum_{i=1}^M c_{oi} e^{-C_i n_i^2} \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^M n_i = N,$$

$$n_i > 0, \quad i = 1, \dots, M.$$

Все коэффициенты  $c_{oi}$  и  $C_i$  здесь известны. Действительно, на практике задача оптимального распределения каналов может решаться только с использованием моделирования, а как с его помощью определяются эти коэффициенты, было продемонстрировано выше.

В форме (6) решение задачи распределения каналов не составляет труда. Она может решаться любыми известными численными методами оптимизации. Мы можем, например, рассматривать варьируемые переменные  $n_i$  как непрерывные величины, отбрасывать решение каким-либо градиентным методом и затем соответствующим образом округлять полученные не целые оптимальные значения. Если нас не устраивает погрешность, вносимая округлениями, мы можем с самого начала решать задачу как целочисленную, используя подходящие квазиградиентные методы.

**7. Пример оптимального распределения каналов.** Решим задачу оптимального распределения  $N = 100$  каналов по четырем узлам сети, рассмотренной в разделе 5. Используя данные ее моделирования, представленные на рис. 4 справа, запишем задачу в форме (6):

$$0,860 e^{-0,0743n_1^2} + 5,656 e^{-0,0174n_2^2} + 1,699 e^{-0,0336n_3^2} + 44,462 e^{-0,011n_4^2} \rightarrow \min, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^4 n_i = 100,$$

$$n_i > 0, \quad i = 1, \dots, 4.$$

Решая эту задачу с помощью сервиса «Поиск решения» Excel, получаем:  $n_1 = 13,23$ ,  $n_2 = 28,6$ ,  $n_3 = 19,9$ ,  $n_4 = 38,27$  или, округляя:

$$n_1 = 13, n_2 = 29, n_3 = 20, n_4 = 38. \quad (8)$$

**8. Проверка оптимального решения.** Оптимальное распределение каналов (8) нетрудно проверить, используя ту же имитационную модель, с помощью которой получены данные рис. 4.

Задав в модели соответствующее решению (8) число каналов в каждом из узлов 1–4 и выполнив моделирование (с прохождением через сеть 10 млн заявок), находим сумму вероятностей потерь в четырех узлах:  $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 1,8 \cdot 10^{-6}$ .

Чтобы подтвердить оптимальность распределения (8), сравним его с равномерным распределением каналов и с распределением каналов, обеспечивающим одинаковые коэффициенты загрузки узлов.

С помощью той же имитационной модели сети, задав равномерное распределение каналов (по 25 каналов на каждый узел), получаем  $Q_1 + \dots + Q_4 = 0,0024$ . Распределение каналов, обеспечивающее одинаковые коэффициенты загрузки узлов  $\rho_i = 0,33$  (это распределение  $n_1 = 9, n_2 = 30, n_3 = 16, n_4 = 45$ ) дает суммарную вероятность потерь  $Q_1 + \dots + Q_4 = 0,00026$ . В обоих случаях суммарная вероятность потерь на несколько порядков хуже, чем при найденном выше оптимальном распределении каналов.

**9. Добавление буферов для хранения заявок.** При проектировании телекоммуникационной сети после оптимального распределения каналов по ее узлам естественно в каждый узел добавить буфер для хранения заявок (сообщений).

Чтобы выбрать размеры буферов, можно выполнить моделирование сети при неограниченных размерах буферов и определить их максимальное содержимое.

Выполнив такое моделирование при прохождении 10 млн заявок, определяем, что максимальное содержимое буферов в узлах 1–4 составило 2, 2, 3 и 4. Многократно повторяя это испытание, можно видеть, что максимальное содержимое этих четырех буферов меняется, но никогда не превышает величин 4, 4, 5 и 7 соответственно. Эта ситуация кардинально отличается от ситуации, возникающей при наращивании объемов буферов или быстродействия единственного канала [12]. Поэтому, установив в узлах данной сети буферы, например, достаточные для хранения 100 заявок, мы полностью исключим потери.

**10. Заключение.** В результате исследования установлено следующее.

При борьбе с потерями сообщений в сетях с фрактальным трафиком стратегия повышения числа каналов обладает кардинальными преимуществами перед стратегиями увеличения буферов и производительности каналов.

Хвост  $Q(n)$  функции  $F(n)$  распределения состояний СМО и узлов СеМО с бесконечным числом каналов имеет при малых  $Q$  (больших  $n$ ) асимптотику (5).

Достаточная для решения задач оптимизации точность приближения (5) обеспечивается, как правило, уже при загрузке  $\lambda b = 10$ .

Законом (5) для фрактальных систем и сетей предопределяется высокая эффективность наращивания числа каналов как метода борьбы с потерями.

Предложенный в статье метод оптимизации распределения каналов по узлам фрактальной сети с очередями может быть непосредственно использован проектировщиками телекоммуникационных сетей с фрактальным трафиком, прост в применении и обеспечивает радикальное снижение вероятности потерь вплоть до ее полного устранения.

#### Библиографический список

1. Leland, W. E., Taqqu, M. S., Willinger, W., Wilson, D. V. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic. ACM/SIGCOMM Computer communications review, 1993, 146–155 pp.
2. Crovella, M. E., Taqqu, M., Bestavros, A. Heavy Tailed-Probability distributions in the World Wide Web. – 5 (6): 835–846, December, 1997.

3. Czachorski, T., Domanska, J., Pagano, M. On stochastic models of Internet traffic. *Information technologies and mathematical modeling*. 2015, 289–303 pp.
4. Kleinrock, L. *Queueing Systems: V. II – Computer Applications* / L. Kleinrock. – N. Y. : Wiley Interscience, 1976. – 576 p.
5. Zwart, A. P. *Queueing Systems with Heavy Tails*. Eindhoven University of Technology, 2001. – 227 p.
6. Asmussen, S., Binswanger, K., Hojgaard, B. Rare events simulation for heavy-tailed distributions. *Bernoulli* 6 (2), 2000. – P. 303–322.
7. Boots, N. K., Shahabuddin, P. (2000). Simulating GI/GI/1 queues and insurance risk processes with subexponential distributions. Unpublished manuscript, Free University, Amsterdam. Shortened version in: *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 2000. – P. 656–665.
8. Zadorozhnyi, V. N. Fractal Queues Simulation Peculiarities, in *Communications in Computer and Information Science*, 2015. – P. 413–432.
9. Zadorozhnyi, V. N. Peculiarities and Methods of Fractal Queues Simulation, in *2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, sec. Fundamental Problems of Communications, Russia, Moscow, May 12–14, 2016. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491713. IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR. ISBN: 978-1-4799-1060-1. – Режим доступа : <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=> (дата обращения: 30.08.2016).
10. Kleijnen, J.P.C. *Statistical Techniques in Simulation*, Part 1, Marcel Dekker, New York. 1974.
11. Zadorozhnyi, V. N. Simulation modeling of fractal queues, in *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*, 2014, December, 2014, pp. 1–4. DOI: 10.1109 / Dynamics. – 2014.7005703.
12. Задорожный, В. Н. Метод ускоренного расчета буферов для фрактальных систем с очередями / В. Н. Задорожный // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2013. – № 1 (117). – С. 216–220.
13. Моисеев, А. Н. Бесконечнолинейные системы и сети массового обслуживания / А. Н. Моисеев, А. А. Назаров. – Томск : Изд-во НТЛ, 2015. – 240 с.
14. Korn G. A., Korn T. M. *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers: Definitions, Theorems, and Formulas for Reference and Review*. General Publishing Company, 2000. – 1151 p.

**ЗАДОРЖНЫЙ Владимир Николаевич**, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления». Адрес для переписки: [zwn2015@yandex.ru](mailto:zwn2015@yandex.ru)  
**ЗАХАРЕНКОВА Татьяна Романовна**, аспирантка кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления». Адрес для переписки: [ZakharenkovaTatiana@gmail.com](mailto:ZakharenkovaTatiana@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 12.09.2016 г.  
 © В. Н. Задорожный, Т. Р. Захаренкова

## Книжная полка

004.7/3-26

**Замятина, О. М. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. Моделирование сетей : учеб. пособие для магистратуры по направлению «Информатика и вычислительная техника» / О. М. Замятина. – М. : Юрайт, 2016. – 159 с.**

В пособии кратко изложены основы теории моделирования систем, приведены различные виды классификации моделирования и моделей, рассмотрена математическая основа моделирования сетей, средства моделирования сетей, а также разработан практический курс в рамках дисциплины «Моделирование сетей ЭВМ и систем телекоммуникаций». Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования. Для студентов, обучающихся по магистерской программе 230100 «Информатика и вычислительная техника» (специализация «Сети ЭВМ и телекоммуникации»).

004/Д79

**Дубинин, Е. А. Оценка относительного ущерба безопасности информационной системы : моногр. / Е. А. Дубинин, Ф. Б. Тебуева, В. В. Копытов. – М. : РИОР; М. : ИНФРА-М, 2015. – 191 с.**

В монографии исследуется адекватность существующих способов оценки ущерба безопасности информационной системы. Для повышения достоверности оценки относительного ущерба безопасности информационной системы предложено использовать мнения экспертов. Разработан модифицированный метод сложения функций принадлежности нечетких экспертных оценок, который учитывает важность мнений экспертов и пригоден для носителей в относительных величинах. Модифицированный метод сложения функций принадлежности нечетких экспертных оценок пригоден для реализации в системах менеджмента и аудита информационной безопасности.

Для специалистов в области аудита безопасности объектов информатизации, а также для преподавателей, студентов и аспирантов технических специальностей.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ДИСКРЕТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В статье продолжается разработка моделей и алгоритмов дискретной оптимизации с логическими, ресурсными и другими ограничениями для проектирования сложных изделий. Эти модели основаны на задаче максимальной выполнимости логической формулы и ее обобщениях. Особое внимание уделяется построению серий изделий с использованием предлагаемых авторами специальных конструкций («ядер»). Приводятся результаты вычислительных экспериментов, указывающих на перспективность развиваемого подхода.

**Ключевые слова:** дискретная оптимизация, целочисленное программирование, задача максимальной выполнимости, логические ограничения, автоматизация проектирования сложных изделий, легкая промышленность.

*Проект выполняется при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований, грант 16-01-00740 и при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, грант 7789ГУ2/2015.*

**Введение.** Во многих задачах принятия решений, связанных с проектированием, планированием и управлением, используются логические, ресурсные и другие ограничения. Логические ограничения часто приводят к задачам выполнимости и максимальной выполнимости логической формулы, которые являются NP-трудными и одними из центральных в теории сложности. Рассматриваемые задачи могут использоваться в различных приложениях. Например, в работах [1–9] исследуются и решаются проблемы проектирования одежды из набора составляющих, в [10] разрабатываются составы резин специального назначения, в [11] решаются задачи логического криптоанализа. Кроме того, большое число приложений задачи выполнимости приведено в обзорной статье [12].

В настоящее время вопросам проектирования сложных изделий уделяется большое внимание, что обусловлено актуальностью этого направления. Многие задачи проектирования решаются с помощью различных компьютерных систем, например [13, 14], применяя которые специалист перебирает и сравнивает большое количество сочетаний составляющих и элементов. При таком подходе могут оказаться не рассмотренными достаточно интересные и перспективные варианты решений, а выбран-

ные не всегда будут оптимальными. В связи с этим требуется применение математического аппарата, в частности моделей и методов дискретной оптимизации, а также разработка комплексов программ на этой основе [2, 4, 5, 8, 9, 15, 16].

В [1–5, 10, 11, 15–19] и других работах используются математические модели, которые являются обобщениями задачи максимальной выполнимости и включают два типа ограничений: «жесткие» (обязательные для выполнения) и «мягкие», которые при определенных условиях могут быть нарушены. В данной работе продолжается развитие рассматриваемого подхода и исследование соответствующих моделей. Значительное внимание уделяется вопросам построения серий изделий на основе предложенных в [7] специальных наборов составляющих («ядер»), позволяющих расширить разнообразие выпускаемой продукции. Изучаются возможности применения данного подхода для автоматизации эскизного проектирования сложных изделий на примере некоторых ассортиментов легкой промышленности, отличающихся большим разнообразием и наполнением групп. Описана структура разрабатываемого программного комплекса [5, 9], приведены результаты вычислительных экспериментов, отражающих перспективность применения «ядер».

**Постановки задач и математические модели.**

Введем логические переменные  $x_1, \dots, x_n$ , которые принимают значения *истина* или *ложь*. Рассмотрим логическую формулу  $F = C_1 \wedge \dots \wedge C_m$ , в которой каждая логическая формула (скобка)  $C_i$  представляет собой дизъюнкцию литералов  $x_j$  и(или) их отрицаний  $\bar{x}_j$ . В задаче выполнимости требуется найти значения переменных, при которых логическая формула является *истинной*.

Обозначим через  $y_1, \dots, y_n$  булевы переменные, причем  $y_j$  соответствуют  $x_j$ , а  $(1 - y_j)$  — переменным  $\bar{x}_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ . Выполнимость логической формулы  $F$  эквивалентна разрешимости следующей системы:

$$\sum_{j \in C_i^+} y_j - \sum_{j \in C_i^-} y_j \geq 1 - |C_i^-|, \quad i = 1, \dots, m, \quad (1)$$

$$0 \leq y_j \leq 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$y_j \in Z, \quad j = 1, \dots, n, \quad (3)$$

где  $C_i^-$  и  $C_i^+$  — множества индексов литералов, входящих в скобки  $C_i$  с отрицанием и без соответственно.

Предположим, что каждая скобка  $C_i$  имеет неотрицательный вес  $c_i$ . Задача максимальной выполнимости заключается в поиске значений переменных, при которых максимизируется вес выполненных скобок.

Введем вспомогательные булевы переменные  $z_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ .

Ниже мы приводим постановку задачи максимальной выполнимости в виде задачи целочисленного линейного программирования (ЦЛП):

$$y_0 = \sum_{i=1}^m c_i z_i \rightarrow \max; \quad (4)$$

$$\sum_{j \in C_i^-} y_j - \sum_{j \in C_i^+} y_j + z_i \leq |C_i^-|, \quad i = 1, \dots, m; \quad (5)$$

$$0 \leq y_j, z_i \leq 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad i = 1, \dots, m; \quad (6)$$

$$y_j, z_i \in Z, \quad j = 1, \dots, n, \quad i = 1, \dots, m. \quad (7)$$

Если в допустимом решении задачи (4)–(7) переменная  $z_i$  принимает значение, равное 1, то  $C_i$  выполнена. Оптимальное значение целевой функции — это суммарный вес выполненных скобок.

Кроме того, практическое значение имеет задача, в которой требуется найти такие значения переменных, при которых будут выполнены все «жесткие» ограничения, а суммарный вес выполненных «мягких» логических ограничений будет максимальным для всех скобок логической формулы. Эту задачу называют смешанной задачей максимальной выполнимости, ее модель ЦЛП имеет вид:

$$y_0 = \sum_{i=1}^m c_i z_i \rightarrow \max; \quad (8)$$

$$\sum_{j \in C_i^+} y_j - \sum_{j \in C_i^-} y_j \geq 1 - |C_i^-|, \quad i \geq m+1; \quad (9)$$

$$\sum_{j \in C_i^-} y_j - \sum_{j \in C_i^+} y_j + z_i \leq |C_i^-|, \quad i = 1, \dots, m; \quad (10)$$

$$0 \leq y_j, z_i \leq 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad i = 1, \dots, m; \quad (11)$$

$$y_j, z_i \in Z, \quad j = 1, \dots, n, \quad i = 1, \dots, m; \quad (12)$$

На основе указанных моделей ЦЛП и метода регулярных разбиений проводились теоретические исследования задач с логическими ограничениями, разработка и анализ алгоритмов точного и приближенного решения [17], результаты которых применяются для различных прикладных задач.

Приведем вариант постановки задачи эскизного проектирования сложных изделий и соответствующую математическую модель с логическими, ресурсными и другими ограничениями. При этом учитывается разбиение элементов на группы составляющих, что позволяет адекватно отразить проблемную ситуацию и может быть использовано при разработке алгоритмов решения задач [1, 4, 9, 15, 19].

Для формулировки задачи введем следующие обозначения:

$J$  — множество номеров составляющих изделия,  $J = \{1, \dots, n\}$ ;

$G$  — множество групп составляющих и характеристик;

$\alpha$  — номер группы,  $\alpha \in G$ ;

$J_\alpha$  — номера составляющих, принадлежащих группе  $\alpha$ ;

$v_j^\alpha$  — составляющая с номером  $j$  из группы  $\alpha$ ;

$x_j^\alpha$  — логическая переменная, которая принимает значение *истина*, если  $v_j^\alpha$  входит в состав изделия, и — значение *ложь* в противном случае;

$L$  — множество номеров показателей, характеризующих степень целесообразности включения составляющих в изделие;

$s_{lj}^\alpha$  — вес составляющей или характеристики  $v_j^\alpha$

по  $l$ -му показателю,  $l \in L, j \in J_\alpha$ ;

$p_l$  — нижняя граница для суммарной значимости составляющих по  $l$ -му показателю, включенных в изделие;

$I$  — множество номеров логических формул, используемых в задаче,  $I \in \{1, \dots, m\}$ ;

$I_0$  — множество номеров логических формул, которые связывают переменные, относящиеся к различным группам;

$C_i$  — логическая формула, соответствующая  $i$ -му логическому ограничению,  $i \in I_0$ , которая представляет собой дизъюнкцию переменных  $x_j^\alpha$  и/или их отрицаний  $\bar{x}_j^\alpha$ , причем формулы с номерами  $I'_0 \subseteq I_0$  должны быть обязательно выполнены;

$d_i$  — вес формулы  $C_i$ , характеризующий степень необходимости ее выполнения,  $i \in I_0 \setminus I'_0$ ;

$\tilde{C}_r$  — логическая формула, которая отвечает  $r$ -му логическому ограничению и связывает переменные группы  $\alpha$ ,  $r \in I_\alpha$ , причем формулы с номерами из  $I'_\alpha \subseteq I_\alpha$  должны быть обязательно выполнены;

$d_r^\alpha$  — вес формулы  $\tilde{C}_r$ , характеризующий степень необходимости ее выполнения,  $r \in I_\alpha \setminus I'_\alpha$ ;

$K$  — множество используемых ресурсов;

$a_{kj}^\alpha$  — объем  $k$ -го ресурса, требуемого для изготовления  $j$ -ой составляющей изделия группы  $\alpha$ ,  $k \in K, j \in J_\alpha$ ;

$b_k$  — имеющийся объем  $k$ -го ресурса,  $k \in K$ .

**Задача состоит в отыскании значений логических переменных, при которых выполняются формулы  $C_i$  с номерами  $i \in I'_0$  и формулы  $\tilde{C}_r$ ,  $r \in I'_\alpha$ ,  $\alpha \in G$ . При этом должны быть удовлетворены ограничения по ресурсам и по суммарной значимости включенных в изделие составляющих, а общий вес выполненных формул  $C_i$ ,  $i \in I_0 \setminus I'_0$  и формул  $\tilde{C}_r$ ,  $r \in I_\alpha \setminus I'_\alpha$ ,  $\alpha \in G$  будет максимальным.**

Пусть булева переменная  $y_j^\alpha$  принимает значение 1, если соответствующий ей элемент включен



в состав изделия, 0 — в противном случае,  $j \in J$ ,  $\alpha \in G$ . По аналогии с моделью ЦЛП для смешанной задачи максимальной выполнимости можно построить модель рассматриваемой задачи проектирования:

$$f(z) = \sum_{i \in I_0 \setminus I'_0} d_i z_i + \sum_{\alpha \in G} \sum_{r \in I_\alpha \setminus I'_\alpha} d_r z_r \rightarrow \max; \quad (13)$$

$$\sum_{\alpha \in G} \left( \sum_{j \in C_{\alpha i}^-} y_j^\alpha - \sum_{j \in C_{\alpha i}^+} y_j^\alpha \right) \leq |C_i^-| - 1, \quad i \in I'_0; \quad (14)$$

$$\sum_{\alpha \in G} \left( \sum_{j \in C_{\alpha i}^-} y_j^\alpha - \sum_{j \in C_{\alpha i}^+} y_j^\alpha \right) + z_i \leq |C_i^-|, \quad i \in I_0 \setminus I'_0; \quad (15)$$

$$\sum_{j \in C_{\alpha r}^-} y_j^\alpha - \sum_{j \in C_{\alpha r}^+} y_j^\alpha \leq |\tilde{C}_{\alpha r}^-| - 1, \quad r \in I'_\alpha; \quad \alpha \in G; \quad (16)$$

$$\sum_{j \in C_{\alpha r}^-} y_j^\alpha - \sum_{j \in C_{\alpha r}^+} y_j^\alpha + z_r \leq |\tilde{C}_{\alpha r}^-|, \quad r \in I_\alpha \setminus I'_\alpha; \quad \alpha \in G; \quad (17)$$

$$\sum_{\alpha \in G} \sum_{j \in J_\alpha} s_{ij}^\alpha y_j^\alpha \geq p_l, \quad l \in L; \quad (18)$$

$$\sum_{\alpha \in G} \sum_{j \in J_\alpha} a_{kj}^\alpha y_j^\alpha \leq b_k, \quad k \in K; \quad (19)$$

$$0 \leq y_j^\alpha \leq 1, \quad y_j^\alpha \in Z, \quad j \in J_\alpha; \quad (20)$$

$$0 \leq z_i \leq 1, \quad z_i \in Z, \quad i \in I_0 \setminus I'_0; \quad (21)$$

$$0 \leq z_r \leq 1, \quad r \in I_\alpha \setminus I'_\alpha; \quad \alpha \in G. \quad (22)$$

В целевой функции (13) максимизируется сумма весов выполненных «мягких» логических формул для переменных, относящихся к различным группам составляющих, и переменных отдельных групп. Неравенство (14) отвечает «жестким» логическим ограничениям, связывающим переменные между группами. Неравенство (15) отвечает мягким ограничениям, связывающим переменные между группами. Ограничения (16) и (17) аналогичны ограничениям (14) и (15), но связывают переменные внутри групп.

Пожелания дизайнера по выбору составляющих и их включению в изделие задается системой (18). Неравенства (19) — ограничения для используемых ресурсов (по стоимости, расходу материалов и пр.), (20) — (22) — условия булевости переменных.

Допустимое решение задачи (13) — (22) определяет вариант изделия с учетом указанных условий. Отметим, что пользователь имеет возможность корректировать ограничения (15) и (17) с помощью весов. Оптимальных решений данной задачи может быть достаточно много, что позволяет специалисту сделать выбор с учетом своих предпочтений.

Одним из эффективных способов повышения конкурентоспособности готовой продукции является создание не отдельных изделий, а нескольких, связанных между собой общей группой составляющих («ядром серии»), при возможности варьирования и взаимозаменяемости остальных составляющих и элементов на основе применения моделей и методов дискретной оптимизации [5, 7]. Рассмотрим более подробно понятие «ядра» серии на примере проектирования одежды. Для этого разобьем все группы составляющих на два класса. Первый — группы составляющих изделия, являющихся фор-

мообразующими (перед, спинка, рукава и др.). Второй класс — группы, предназначенные для создания визуального разнообразия эскизов моделей изделий (воротники, карманы и пр.). «Ядра» порождаются некоторыми комбинациями составляющих первого класса, связанных между собой единством конструктивного решения. Элементы второго класса должны согласоваться с ядром, при этом учитывается их художественная, конструктивная и технологическая совместимость. Такой метод позволяет в процессе формирования серий изделий без дополнительных временных и ресурсных затрат параллельно изготавливать несколько моделей одежды в одном производственном потоке.

Ранее были разработаны несколько «ядер» при проектировании серий моделей женской одежды платьево-блузочного ассортимента, для создания которых был выделен ряд «жестких» логических ограничений, определяющих фиксированный набор элементов, принадлежащих первому классу составляющих и формирующих «ядро» серии. Остальные «жесткие» и «мягкие» логические ограничения порождали разнообразие моделей серии. Проведены соответствующие вычислительные эксперименты [6].

Еще одним перспективным направлением развития подхода является проектирование комплектов одежды [5, 7, 9], т. е. наборов изделий из различных ассортиментных групп, связанных между собой единством стиля, формой, пропорциональным соотношением элементов, согласованностью членений, сочетанием отделки, материалов, цветовым решением и т. д.

**Разработка алгоритмов и программного комплекса.** Для решения рассматриваемых задач проектирования сложных изделий ранее авторами использовались различные пакеты прикладных программ, в частности GAMS. Кроме того, был создан вариант программного комплекса [5, 9, 15] для автоматизации проектирования серий и единичных эскизов одежды. При этом решались задачи проектирования женских демисезонных пальто, жакетов, изделий платьево-блузочного ассортимента и некоторых технических устройств [2, 4–9, 15, 16, 18, 19]. В экспериментах варьировались веса элементов составляющих, а также степень важности выполнения определенных «мягких» логических ограничений. Рассматривались различные силуэтные формы проектируемых изделий, фиксировалось некоторое количество элементов, включенных в модель. Расчеты подтвердили практическую ценность развиваемого подхода. На его основе оказалось возможным достаточно быстро получать разнообразные варианты эскизов, которые применимы для разработки изделий различных ассортиментных групп, запускаемых в технологический процесс.

В настоящее время ведется разработка специальных алгоритмов для поиска точных и приближенных решений исследуемых задач с целью создания серий изделий на основе одного «ядра». В случае приближенного решения задачи учитывается ограничение на максимально допустимое отклонение от оптимального решения (по значению целевой функции). Реализован алгоритм поиска допустимых решений, удовлетворяющих системе жестких ограничений (14) и (16), на основе комбинаторного алгоритма перебора  $L$ -классов для задачи выполнимости [20]. Данный алгоритм позволяет за приемлемое время, решая задачу (13) — (22), создавать серию достаточно разнообразных изделий.

С целью апробации алгоритма были проведены экспериментальные исследования. Для этого использовались задачи проектирования серий изделий платьево-блузочного ассортимента на основе разработанной ранее библиотеки составляющих графических изображений и логических ограничений для проектирования серий на основе одного из разработанных «ядер». Алгоритм реализован в среде Visual Studio C++ . Расчеты проводились на компьютере Intel(R), Core(TM) i5-3337U CPU @ 1.80Ghz.

Для проектирования изделий платьево-блузочного ассортимента на основе реальных исходных данных решалась задача с 55 «жесткими» и шестью «мягкими» ограничениями, число булевых переменных равнялось 30. Достаточно быстро было получено более 100 различных оптимальных решений, на базе которых была построена серия эскизов одежды.

В настоящее время модернизируется программный комплекс [5, 9], который позволит специалисту вводить и корректировать исходные данные для создания технических эскизов, использовать математические модели и алгоритмы поиска оптимальных решений, реализовывать взаимодействие с базами знаний. Последние включают в себя следующую информацию: размерные признаки типовых фигур и их графические изображения, составляющие и характеристики швейных изделий, полученные технические и художественные эскизы, а также логические, ресурсные и другие ограничения, необходимые для построения математических моделей.

Комплекс должен обеспечивать возможность получать и модифицировать указанные ограничения, визуализацию проекта и промежуточных вариантов, готовить отчеты и выводить их на печать, использовать различные цветовые схемы.

Кроме прямого проектирования одежды такой программный продукт может обеспечивать анализ полученных решений по значениям ряда показателей с целью оценки качества готовых эскизов, а также проводить сравнение нескольких вариантов для выбора наилучшего из них.

**Заключение.** В статье продолжены разработка и исследование моделей целочисленного программирования для проектирования сложных изделий, в том числе в легкой промышленности, основанных на задачах выполнимости и максимальной выполнимости логической формулы. Особое внимание уделено созданию серий сложных изделий с применением специальных конструкций («ядер») на примере некоторых ассортиментных групп сложных изделий.

Ведется разработка алгоритмов и модернизация программного комплекса для автоматизации проектирования сложных изделий с целью расширения его функциональных возможностей. Проводятся экспериментальные исследования с использованием реальных исходных данных.

#### Библиографический список

1. Колоколов, А. А. Проектирование одежды с использованием некоторых моделей дискретной оптимизации / А. А. Колоколов, А. В. Ярош // Омский научный вестник. — 2002. — Вып. 20. — С. 91–94.
2. Гуселетова, О. Н. Решение задач дискретной оптимизации с логическими ограничениями при проектировании слож-

ных изделий / О. Н. Гуселетова, А. А. Колоколов // Автоматика и телемеханика. — 2008. — № 10. — С. 176–182.

3. Колоколов, А. А. Разработка и анализ моделей дискретной оптимизации для проектирования одного класса сложных изделий / А. А. Колоколов, Т. М. Орлова // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2012. — № 2 (110). — С. 22–24.

4. Артемова, А. В. Решение оптимизационных задач при разработке средств вычислительной техники : учеб. пособие / А. В. Артемова, А. А. Колоколов, В. И. Потапов. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012. — 88 с.

5. Артемова, А. В. Применение методов дискретной оптимизации для проектирования некоторых классов сложных изделий с учетом колористических решений / А. В. Артемова, И. Е. Кан // Проблемы оптимизации сложных систем : тр. X Азиатской школы-семинара. — Алматы : НЦ НТИ, 2014. — С. 65–68.

6. Кан, И. Е. Об одном подходе к автоматизации проектирования одежды с использованием дискретной оптимизации (About one approach for the automation of the clothes design process using discrete optimization) / И. Е. Кан, А. В. Артемова // Российско-корейская науч. конф. : тез. докл. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. — С. 22–25.

7. Ярош, А. В. Решение задач формирования серий и комплектов одежды на основе дискретной оптимизации / А. В. Ярош, Л. В. Ларькина // Методы оптимизации и их приложения : тр. XIV Байкальской междунар. школы-семинара. — Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2008. — Т. 4 — С. 230–237.

8. Kolokolov, A. A. Computer-Aided Design of Some Assortment Groups of Complex Products Using Discrete Optimization / A. A. Kolokolov, A. V. Artemova, I. E. Kan // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), 2014. — P. 1–5. — DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005667. — Режим доступа: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?arnumber=7005667&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D7005667](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?arnumber=7005667&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D7005667) (дата обращения: 09.07.2016).

9. Артемова, А. В. О решении некоторых задач автоматизации проектирования изделий легкой промышленности / А. В. Артемова, И. Е. Кан // Математическое программирование и приложения : тез. докл. Всерос. конф. — Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 2015. — С. 69.

10. Адельшин, А. В. Применение задач выполнимости логической формулы для проектирования химического состава резин / А. В. Адельшин, Е. Н. Жовнер // Вестник Омского университета. — 2011. — № 2. — С. 14–18.

11. Посыпкин, М. А. Решение задач криптоанализа потоковых шифров в распределенных вычислительных средах / М. А. Посыпкин, [и др.] // Труды ИСА. — 2009. — Т. 46. — С. 119–137.

12. Gu, J. Algorithms for the Satisfiability (SAT) Problem: A Survey / J. Gu, P. Purdom, J. Franco, B. Wah // DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, 1996, 131 p.

13. Sano, T. Computer aided design system for Japanese kimono / T. Sano, H. Yamamoto // Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2001. IMTC 2001. Proceedings of the 18th IEEE. Vol. 1, 21–23 May 2001, P. 326–331. — DOI: 10.1109/IMTC.2001.928834.

14. Zhou, X. The research of computer aided garment designing system based on CorelDraw / X. Zhou, S. Yu // Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2009. CAID & CD 2009. IEEE 10th International Conference, 2009. — P. 1241–1243. — DOI: 10.1109/CAIDCD.2009.5375083. — Режим доступа : <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5375083&queryText=The%20Research%20of%20Computer%20Aided%20Garment%20Designing%20System%20Based%20on%20Coreldraw&newsearch=true> (дата обращения: 09.07.2016).

15. Колоколов, А. А. Математические модели и программный комплекс для проектирования эскизов одежды /

А. А. Колоколов, З. Е. Нагорная, О. Н. Гуселетова, А. В. Ярош // Прикладная математики и информационные технологии : сб. науч. и метод. тр. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2005. — С. 80–98.

16. Колоколов, А. А. Системы автоматизированного проектирования в сервисе : учеб. пособие / А. А. Колоколов, З. Е. Нагорная, А. В. Ярош. — Омск : ОГИС, 2006. — Ч. 1. — 113 с.

17. Kolokolov, A. A. Analysis and solving SAT and MAX-SAT problems using an L-partition approach / A. A. Kolokolov, A. V. Adelshin, D. I. Yagofarova // Journal of Mathematical Modeling and Algorithms, Springer, 2013, Vol. 12, № 2, P. 201–212.

18. Kolokolov, A. A. On solving some complex design problems using discrete optimization models / A. A. Kolokolov, A. V. Yarosh // Operation Research 2003, Annual International Conference of the German Operation Research Society (GOR). — Heidelberg, Germany : University of Heidelberg, 2003. 3–5 September. — P. 136.

19. Колоколов, А. А. Автоматизация проектирования сложных изделий с использованием дискретной оптимизации и информационных технологий / А. А. Колоколов, А. В. Ярош // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2010. — № 2 (90). — С. 234–238.

20. Колоколов, А. А. Решение задачи выполнимости с использованием метода перебора L-классов / А. А. Колоколов, А. В. Адельшин, Д. И. Ягофарова // Информационные технологии. — 2009. — № 2. — С. 54–59.

**КОЛОКОЛОВ Александр Александрович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией дискретной оптимизации института математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Омский филиал; заведующий кафедрой прикладной и вычислительной математики Омского государственного университета им. Ф. М. Достоевского.

Адрес для переписки: [kolo@ofim.oscsbras.ru](mailto:kolo@ofim.oscsbras.ru)

**АРТЕМОВА Александра Викторовна**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры информатики и вычислительной техники Омского государственного технического университета.

Адрес для переписки: [alexhartemova@gmail.com](mailto:alexhartemova@gmail.com)

**АДЕЛЬШИН Александр Владимирович**, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории дискретной оптимизации института математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Омский филиал.

Адрес для переписки: [adelshin@mail.ru](mailto:adelshin@mail.ru)

**КАН Ирина Евгеньевна**, преподаватель кафедры общеобразовательных дисциплин Сибирского института непрерывного дополнительного образования, г. Омск.

Адрес для переписки: [irina.e.kan@gmail.com](mailto:irina.e.kan@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 12.07.2016 г.

© А. А. Колоколов, А. В. Артемова, А. В. Адельшин, И. Е. Кан

## Информация

### Конкурс 2016–2017 года для студентов на лучшую работу, выполненную с использованием математических пакетов

Образовательный математический сайт **Exponenta.ru** проводит конкурсы для студентов на лучшую работу, выполненную с использованием математических пакетов.

Победитель конкурса получит приз от компании РТС.

#### Требования для работ на конкурс:

Аннотация работы (не более 2500 знаков), оформленная в виде текстового файла либо в MS Word  
Исходные файлы самой работы (файлы \*.mcd, \*.m, \*.mws, \*.nb и т. д.)

Краткие сведения об авторе/авторах и работе:

- фамилия, имя, отчество;
- e-mail для связи;
- название работы;
- название Вашего вуза;
- название пакета, который Вы использовали при решении;
- название курса, по которому выполнена работа;
- тип Вашей задачи (задача домашнего задания, лабораторная работа, курсовая работа и т. п.);
- почтовый адрес с индексом (для высылки дипломов).

Присланные работы будут помещены в разделе Банк студенческих задач и станут доступны для просмотра и свободного скачивания любым посетителям сайта Exponenta.ru.

Организаторы сайта оставляют за собой право отбора работ для размещения на сайте и редактирования описаний работ.

Работы принимаются по **31 января 2017 года**. Итоги конкурса будут подведены в **феврале 2017 года**.

Подать заявку на участие и ознакомиться с информацией о конкурсе можно на сайте Exponenta.ru: [http://www.exponenta.ru/educat/competit/competit\\_konk.asp#2](http://www.exponenta.ru/educat/competit/competit_konk.asp#2)

Источник: [http://www.rsci.ru/innovations/grants\\_for\\_students/239548.php](http://www.rsci.ru/innovations/grants_for_students/239548.php) (дата обращения: 06.10.2016).

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГОТОВНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ

Поставлена задача и разработаны математические модели для вычисления функциональной готовности технической системы при подготовке ее к противоборству в конфликтной ситуации и при восстановлении работоспособности после отказов компонентов в процессе противоборства при конечной надежности системы подготовки и восстановления с учетом надежности человека-оператора. Разработан программный комплекс для численного решения поставленной задачи. Техническая система рассматривается, как человеко-машинный комплекс, с учетом человеческого фактора (возможные ошибки и сбои человека-оператора).

**Ключевые слова:** математическая модель, конфликтная ситуация, человек-оператор, противоборство, программный комплекс, человеко-машинная динамическая система.

**Введение.** Практически во всех известных работах [1–7], посвященных исследованию вопросов противоборства динамических технических систем в конфликтных ситуациях, влияние человеческого фактора на поведение и надежность работы таких систем либо не рассматривалось вообще, либо молчаливо полагалось, что человек, участвующий в процессе подготовки системы к противоборству или восстановлению работоспособности после отказов компонентов в процессе противоборства, является абсолютно надежным и не подверженным негативному влиянию со стороны противника, снижающим его характеристики надежности.

На самом деле любая техническая система, участвующая в конфликтной ситуации, как правило, является системой с программно-аппаратным управлением процесса подготовки системы к противоборству в конфликтной ситуации и восстановлению работоспособности системы после отказов и представляет собой человеко-машинный комплекс, в котором человек может выполнять функции: оператора (настройщика), ремонтника, оператора и ремонтника, эргатического резерва (резервного компонента в системе) и другие, в зависимости от поставленных целей и задач перед технической системой.

Далее будем полагать, что человек является составной частью технической системы и оказывает влияние на ее надежность в процессе подготовки к работе и в процессе восстановления после отказов. При этом будем считать, что в идеальном случае человек абсолютно надежный, а в реальных условиях человек обладает конечной надежностью и

в силу физиологических особенностей или воздействия на него противника может ошибаться (временно отказывать) с интенсивностью  $\zeta$  и восстанавливать свою работоспособность с интенсивно  $\nu > 0$ , при условии абсолютной надежности человека. При конечной надежности человека  $\nu = 0$ . Известно [8], что интенсивность ошибок и сбоев человека-оператора на 1–2 порядка выше сбоев и отказов технических систем.

Поведение рассматриваемого человеко-машинного комплекса будем исследовать в предположении аппроксимации его марковским процессом и простейших потоках отказов и восстановлений как человека, так и динамической технической системы, в состав которой включим систему контроля состояния технической системы и управления процессом восстановления функциональных свойств после отказов. При этом будем полагать, что интенсивность отказов системы контроля и восстановления технической системы равна  $\lambda$ , а интенсивность ее восстановления после отказов равна  $\mu$ .

**Первая математическая модель.** Будем рассматривать процесс подготовки технической системы к работе в конфликтной ситуации в предположении, что аппаратно-программная часть системы подготовки имеет конечную надежность, а оператор абсолютно надежный.

Обозначим  $E_i$  ( $i=0,1,\dots,n$ ) — состояние технической системы на  $i$ -м шаге процесса подготовки к функционированию (подготовки к работе) или восстановлению после отказов блоков в процессе противоборства системы;  $\mu_i = const$  ( $i=0,1,\dots,n-1$ ) — интенсивность выполнения  $i$ -й операции

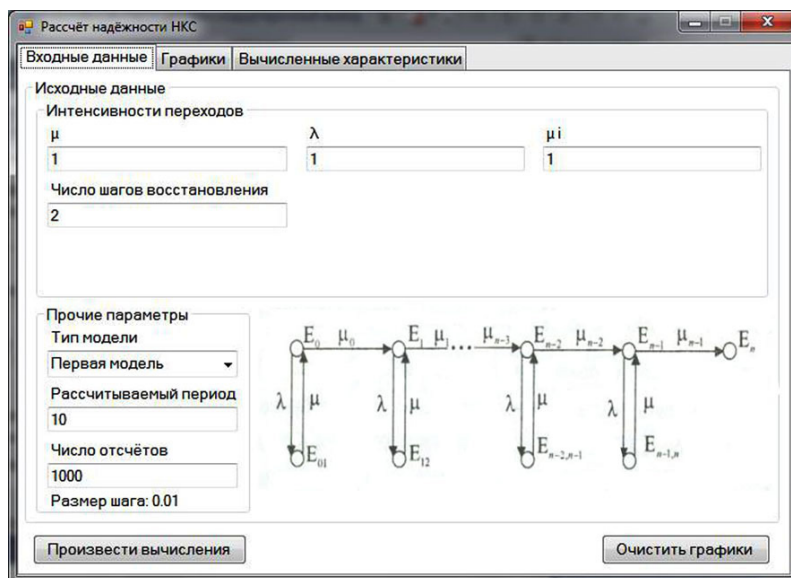


Рис. 1. Интерфейс ПК

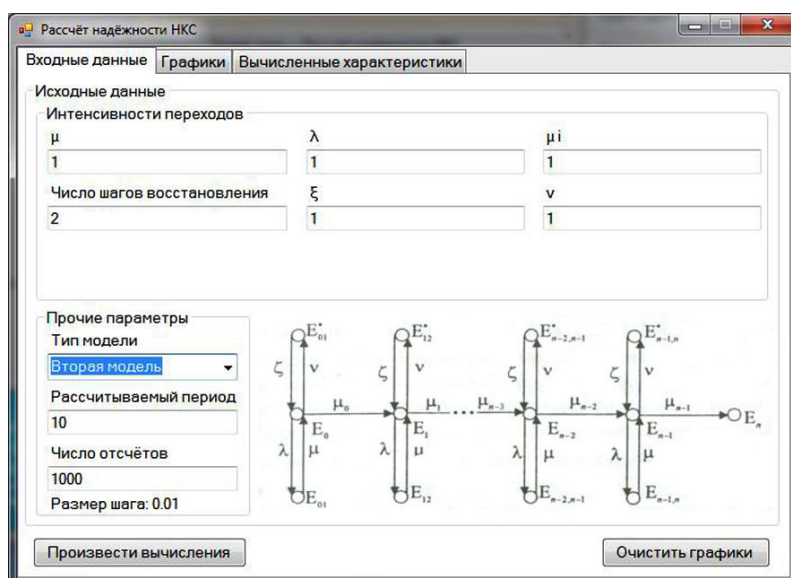


Рис. 2. Пример окна ПК на вкладке «Входные данные» для второй модели динамической технической системы

подготовки (восстановления после отказов) системы;  $E_{ij}$  ( $i=0, 1, \dots, n-1$ ;  $j=1, 2, \dots, n$ ) — состояние технической системы на  $i$ -м шаге подготовки (восстановления) при наличии отказа в аппаратно-программной части системы подготовки;  $\lambda$  — интенсивность отказов аппаратно-программной части системы подготовки к работе (восстановления после отказов), а  $\mu$  — интенсивность ее восстановления после отказа аппаратно-программной части системы.

Тогда поведение рассматриваемой технической системы может быть описано (при условии марковского процесса) графом переходов на рис. 1.

Пусть  $p_i(t)$  — вероятность нахождения технической системы в состоянии  $E_i$  ( $i=0, 1, \dots, n$ );  $p_{ij}(t)$  — вероятность нахождения системы в состоянии  $E_{ij}$  ( $i=0, 1, \dots, n-1$ ;  $j=1, 2, \dots, n$ ). Тогда по известным правилам [9] нетрудно составить систему дифференциальных уравнений, описывающих поведение рассматриваемой технической системы, при сделанных выше допущениях:

$$\begin{aligned} p'_0(t) &= \mu p_{01}(t) - (\mu_0 + \lambda) p_0(t), \\ p'_k(t) &= \mu_{k-1} p_{k-1}(t) + \mu p_{k,k+1}(t) - [\mu_k p_k(t) + \lambda p_{k,k+1}(t)], \\ k &= 1, 2, \dots, n-1, \\ p'_n(t) &= \mu_{n-1} p_{n-1}(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Решая систему уравнений (1) аналитически [10] либо численными методами при начальных условиях  $p_0(0)=1$ ;  $p_i(0)=0$   $1 \leq i \leq n$ ;  $p_{ij}(0)=0$  ( $i=0, 1, \dots, n-1$ ;  $j=1, 2, \dots, n$ ), легко вычислить функциональную готовность  $P_{\Phi}(t)$  рассматриваемой технической системы, участвующей в конфликтной ситуации,

$$P_{\Phi}(t) = 1 - \left[ \sum_{i=0}^{n-1} p_i(t) + \sum_{\substack{i=0, 1, \dots, n-1 \\ j=1, 2, \dots, n}} p_{ij}(t) \right].$$

Это выражение легко реализуется на любом компьютере.

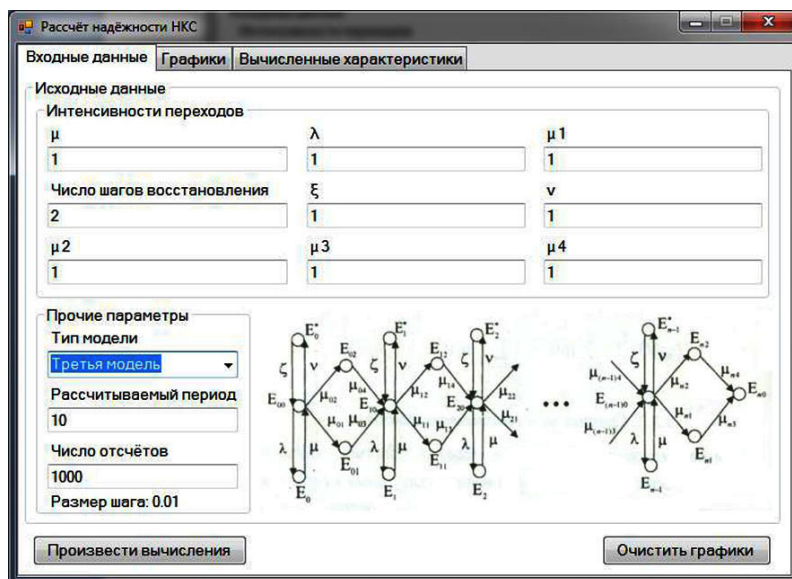


Рис. 3. Пример окна ПК на вкладке «Входные данные» для третьей модели динамической технической системы

**Вторая математическая модель.** Используя предположения и обозначения, введенные при рассмотрении первой модели, будем полагать, что человек-оператор, производящий подготовку к работе и принимающий участие в восстановлении системы после отказов в конфликтной ситуации, имеет конечную надежность. Это означает, что в процессе подготовки к работе и восстановлении работоспособности после отказов технической системы он может в силу физиологических факторов и под негативным воздействием противника допускать ошибки (сбои — временные отказы) с интенсивностью  $\zeta$ , до устранения которых — восстановления работоспособности оператора с интенсивностью  $v$ , рассматриваемая техническая система будет находиться в одном из «отказовых» состояний  $E_{ij}$  ( $i=0, 1, \dots, n-1; j=1, 2, \dots, n$ ). Вероятность нахождения системы в состоянии  $E_{ij}$  обозначим  $p_{ij}^*(t)$ .

Поведение такой системы описывается графом на рис. 2.

Очевидно, что в рамках сделанных предположений система дифференциальных уравнений, описывающих поведение такой технической системы, будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} p_0'(t) &= \mu p_{01}(t) + \zeta p_{01}^*(t) - (\mu_0 + \lambda + v)p_0(t), \\ p_k'(t) &= \mu_{k-1} p_{k-1}(t) + \mu p_{k,k+1}(t) + \\ &+ \zeta p_{k,k+1}^*(t) - [\mu_k p_k(t) + \lambda p_{k,k+1}(t) + v p_{k,k+1}^*(t)], \\ &k = 1, 2, \dots, n-1 \\ p_n'(t) &= \mu_{n-1} p_{n-1}(t). \end{aligned} \quad (2)$$

Решение системы уравнений (2) с начальными условиями  $p_0(0)=1; p_i(0)=0 \quad 1 \leq i \leq n; p_{ij}(0)=0, p_{ij}^*(0)=0$  ( $i=0, 1, \dots, n-1; j=1, 2, \dots, n$ ) не представляет трудности.

Для рассматриваемой модели технической системы функциональная готовность вычисляется по формуле

$$P_{\Phi}(t) = 1 - \left[ \sum_{i=0}^{n-1} p_i(t) + \sum_{\substack{i=0, 1, \dots, n-1 \\ j=1, 2, \dots, n}} p_{ij}(t) + \sum_{\substack{i=0, 1, \dots, n-1 \\ j=1, 2, \dots, n}} p_{ij}^*(t) \right].$$

Теперь исследование функциональной готовности рассматриваемой человеко-машинной динамической системы с помощью персональной ЭВМ не представляет сложности.

**Третья математическая модель.** При рассмотрении первых двух моделей полагали, что интенсивности выполнения каждой  $i$ -й операции подготовки к работе или восстановлению работоспособности технической системы после отказов  $\mu_i$  ( $i=0, 1, \dots, n-1$ ) является постоянной величиной то есть на интенсивность выполнения этих операций противник не оказывает влияние. В реальных условиях, конфликтной ситуации противник, как правило, стремится повлиять (уменьшить) за счет своих ресурсов нападения интенсивности выполнения операций подготовки к работе и восстановления работоспособности после отказов человеко-машинной технической системы. При этом интенсивности восстановления являются функциями времени, т. е.  $\mu_i(t) \neq const \quad (0 \leq i \leq n-1)$ . В этом случае модель для решения задачи вычисления функциональной готовности рассматриваемой системы может быть сведена к построению статистически эквивалентной системы [11], где каждый локальный переход из одного состояния в другое заменен так эквивалентной группой переходов, имеющих постоянные во времени интенсивности, что результирующая условная вероятность перехода в этой группе достаточно близка к условной вероятности перехода в реальной системе.

С учетом сказанного выше, при условии конечной надежности человека-оператора и аппаратной части системы подготовки динамической технической системы к работе, используя обозначения, сделанные при рассмотрении первой и второй модели, граф состояний, описывающий поведение рассматриваемой модели системы, приведен на рис. 3.

Система дифференциальных уравнений, описывающих поведение рассматриваемой человеко-машинной технической системы, участвующей в конфликте, соответствующая графу на рис. 2, может быть записана в следующем виде:

$$\begin{aligned} p_{00}'(t) &= \mu p_0(t) + \zeta p_0^*(t) - \lambda p_0(t) - \\ &- v p_0^*(t) - \mu_{01} p_{01}(t) - \mu_{02} p_{02}(t), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p'_{10}(t) &= \mu p_1(t) + \zeta p_1^*(t) + \mu_{03} p_{01}(t) + \\
 &+ \mu_{04} p_{02}(t) - [\mu_{11} p_{11}(t) + \mu_{12} p_{12}(t) + \\
 &+ \lambda p_1(t) + \nu p_1^*(t)], \\
 p'_{20}(t) &= \mu p_2(t) + \zeta p_2^*(t) + \mu_{13} p_{11}(t) + \\
 &+ \mu_{14} p_{12}(t) - [\mu_{21} p_{21}(t) + \\
 &+ \mu_{22} p_{22}(t) + \lambda p_2(t) + \nu p_2^*(t)], \\
 p'_{(n-2)0}(t) &= \mu p_{n-2}(t) + \zeta p_{n-2}^*(t) + \\
 &+ \mu_{(n-1)1} p_{(n-2)1}(t) + \mu_{(n-1)2} p_{(n-2)2}(t) - \\
 &- [\mu_{(n-1)1} p_{(n-1)1}(t) + \mu_{(n-1)2} p_{(n-1)2}(t) + \lambda p_{n-2}(t) + \nu p_{n-2}^*(t)], \\
 p'_{(n-1)0}(t) &= \mu p_{n-1}(t) + \zeta p_{n-1}^*(t) + \\
 &+ \mu_{(n-1)3} p_{(n-1)1}(t) + \mu_{(n-1)4} p_{(n-1)2}(t) - \\
 &- [\mu_{n1} p_{n1}(t) + \mu_{n2} p_{n2}(t) + \lambda p_{n-1}(t) + \nu p_{n-1}^*(t)], \\
 p'_{n0}(t) &= \mu_{n3} p_{n1}(t) + \mu_{n4} p_{n2}(t).
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Решение системы уравнений (3) в аналитическом виде ввиду громоздкости не представляется возможным, поэтому для ее решения следует использовать численные методы, легко реализуемые на современных профессиональных ПЭВМ.

Для вычисления функциональной готовности рассматриваемой технической системы использует следующее выражение:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ФГ}}(t) &= 1 - \left[ \sum_{i=0,1,\dots,n} (\rho_{i0}(t) + \right. \\
 &+ p_{i1}(t) + p_{i2}(t)) + \left. \sum_{i=0,1,\dots,n-1} (p_i(t) + p_i^*(t)) \right],
 \end{aligned}$$

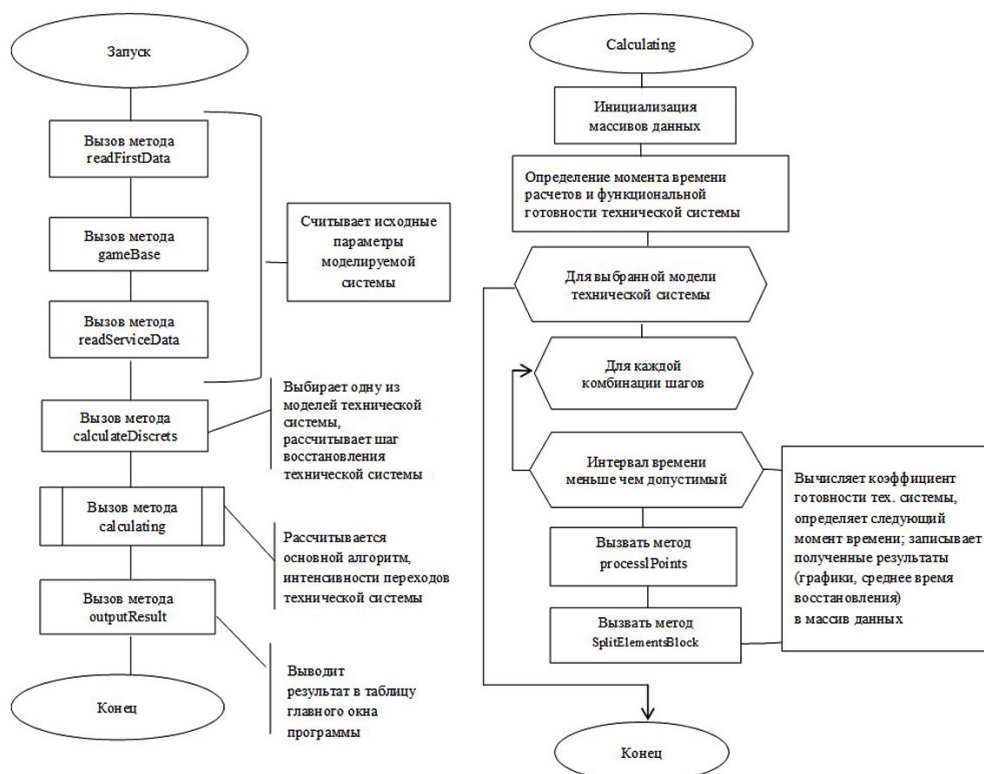


Рис. 4. Схема алгоритма ПК

где вероятности  $p_{ij}(t)$ ,  $p_i(t)$ ,  $p_i^*(t)$  соответствуют нахождению технической системы в состояниях, обозначенных одноименными вершинами графа на рис. 3.

Используя положения, идеи и примеры построения математических моделей для вычисления функциональной готовности участвующей в конфликтной ситуации человеко-машинной динамической системы в процессе ее подготовки к работе и в процессе восстановления работоспособности после отказов компонентов с учетом участия в этих процессах человека-оператора, нетрудно построить математическую модель для вычисления функциональной готовности технической системы  $P_{\text{ФГ}}(t)$ , когда все переменные  $\mu_i(t)$ ,  $\lambda_i(t)$ ,  $\zeta_i(t)$ ,  $\nu_i(t)$ , участвующие в построении модели, являются функциями времени [12].

**Программный комплекс, реализующий решение поставленных задач.** На основе описанных выше математических моделей разработан программный комплекс (далее ПК), который предназначен для приближенного вычисления функциональной готовности человеко-машинной динамической технической системы при подготовке ее к противоборству в конфликтной ситуации и при восстановлении работоспособности после отказов компонентов в процессе противоборства при абсолютной и конечной надежности человека оператора [13].

Для заданной динамической технической системы в ПК выполняются следующие функции: ввод исходных параметров; расчет вероятности безотказной работы; расчет среднего времени восстановления; расчет функциональной готовности; графическая иллюстрация вывода изменения вероятности безотказной работы технической системы.

На рис. 4 представлена схема, реализующая общий алгоритм работы ПК.



Рис. 5. Пример окна ПК на вкладке «Графики»

Момент времени	Коэффициент функциональной готовности	Погрешность
0	0,000000	0,000000
0,01	0,000049	0,000000
0,02	0,000195	0,000000
0,03	0,000432	0,000000
0,04	0,000759	0,000000
0,05	0,001170	0,000000
0,06	0,001663	0,000000
0,07	0,002235	0,000000
0,08	0,002881	0,000000
0,09	0,003600	0,000000
0,1	0,004388	0,000000
0,11	0,005242	0,000000
0,12	0,006160	0,000000
0,13	0,007139	0,000000
0,14	0,008176	0,000000
0,15	0,009268	0,000000
0,16	0,010415	0,000000

Рис. 6. Пример окна ПК на вкладке «Вычисленные характеристики»

В ПК предусмотрено три окна: окно ввода данных динамической технической системы (рис. 1); окно «графики», которое служит для вывода графиков вероятности безотказной работы технической системы в зависимости от выбранной модели (рис. 5); окно «вычисленные характеристики», предназначенное для вывода расчетов среднего времени восстановления технической системы и коэффициентов функциональной готовности системы в определенный момент времени (рис. 6).

Вкладка «Входные данные» включает ввод исходных данных технической системы и человека-оператора (рис. 1): «интенсивности переходов», которая позволяет задать следующие параметры:  $\lambda$  — интенсивность отказов системы контроля и восстановления технической системы;  $\mu$  — интенсивность восстановления технической системы после отказов;  $\xi$  — интенсивность отказов человека-оператора;  $\nu$  — интенсивность восстановления человека-оператора;  $\mu_i$  — интенсивность выполнения  $i$ -ой операции подготовки восстановления после отказов технической системы; количество шагов подготовки (восстановления) технической системы.

Поведение каждой из моделей технической системы описано графом переходов, которые для визуального восприятия наглядно представлены во вкладке «входные данные» (рис. 2, 3).

Область вывода данных представлена второй и третьей вкладкой программы (рис. 5, 6) и служит соответственно для вывода графиков вероятностей безотказной работы технической системы и таблицы основных расчетов.

После ввода всех параметров динамической технической системы и человека-оператора, пользователю необходимо нажать на кнопку «Произвести вычисления». Начнется этап расчет. В этот момент кнопки «Произвести вычисления» и «Очистить графики» станут недоступными.

На вкладке «Графики» после выполнения вычислений будут отображаться графики вероятности безотказной работы системы. На вкладке «Вычисленные характеристики» будет отображаться следующее (рис. 6): среднее время восстановления технической системы; таблица, отображающая коэффициент функциональной готовности технической системы и соответствующая погрешность



в определенный момент времени работы технической системы.

Для очистки вкладки «Графики» от большого количества отображенных графиков необходимо зайти во вкладку «Входные данные» и нажать кнопку «Очистить графики».

**Заключение.** Результатом проводимых экспериментов являются массивы данных, содержащие момент времени расчетов динамической технической системы, функциональную готовность технической системы, участвующей в конфликтной ситуации, и погрешность вычислений, а также графики зависимости вероятности безотказной работы технической системы с заданной моделью и значение среднего времени восстановления системы.

#### Библиографический список

1. Потапов, В. И. Новые задачи оптимизации резервированных систем / В. И. Потапов, С. Г. Братцев. — Иркутск : Изд-во Иркутского ун-та, 1986. — 112 с.
2. Nartov, V. K. Conflict of Moving Systems / V. K. Nartov. — France : AMSE Press, 1994. — 87 p.
3. Конфликт сложных систем. Модели и управление / Б. К. Нартов [и др.]. — М. : Изд-во МАИ, 1995. — 120 с.
4. Нартов, Б. К. Управление подвижными объектами. Формализация и модели / Б. К. Нартов. — Омск : Изд-во ОмГУ, 2002. — 83 с.
5. Лефевр, В. А. Конфликтующие структуры / В. А. Лефевр. — М. : Советское радио, 1973. — 159 с.
6. Потапов, В. И. Модель и алгоритм численного решения задачи противоборства двух избыточных, восстанавливаемых после отказов технических систем / В. И. Потапов // Проблемы управления и информатики : междунар. науч.-техн. журн. — 2015. — № 4. — С. 70–78.
7. Потапов, В. И. Математическая модель и алгоритм оптимального управления подвижным объектом в конфликтной

ситуации / В. И. Потапов // Мехатроника, автоматика, управление. — 2014. — № 7. — С. 16–22.

8. Литвинов, В. А. Контроль достоверности и восстановления информации в человеко-машинных системах / В. А. Литвинов, В. В. Крамаренков. — Киев : Техника, 1986. — 200 с.
9. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. — М. : Советское радио, 1972. — 550 с.
10. Козлов, Б. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. — М. : Советское радио, 1975. — 472 с.
11. Васильев, Б. В. Надежность и эффективность радиоэлектронных устройств / Б. В. Васильев, Б. А. Козлов, Л. Г. Ткаченко. — М. : Советское радио, 1964. — 368 с.
12. Потапов, В. И. Математические модели и программный комплекс для компьютерной реализации задач оптимального управления противоборствующими подвижными и неподвижными объектами / В. И. Потапов, О. А. Горн // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2015. — № 2 (140). — С. 199–204.
13. Горн, О. А. Вычисление функциональной готовности технической системы при подготовке ее к противоборству в конфликтной ситуации и продолжению противоборства после отказов компонентов системы с учетом надёжности человека-оператора / В. И. Потапов, О. А. Горн // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 21209 от 06.10.2015 г. — М. : ФИПС, 2015.

**ПОТАПОВ Виктор Ильич**, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой информатики и вычислительной техники, заслуженный деятель науки и техники РФ.

**ГОРН Ольга Анатольевна**, аспирантка, ассистент кафедры информатики и вычислительной техники. Адрес для переписки: Anatole4ka@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 06.09.2016 г.

© В. И. Потапов, О. А. Горн

## Книжная полка

004.4/Б43

**Белик, А. Г. Проектирование и архитектура программных систем : учеб. пособие / А. Г. Белик, В. Н. Цыганенко. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. — 94 с.**

На основе обзора литературных источников и нормативно-технической документации изложены методические подходы и технологии решения задач проектирования программного обеспечения; приведен аналитический обзор типовых решений по системной архитектуре, моделированию информационных баз и процессов; рассмотрены современные информационные технологии, применяемые в этой области; изложены основные сведения по управлению программными проектами, обеспечению качества и документированию программных систем.

Может быть использовано студентами следующих направлений бакалавриата и магистратуры: 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 09.03.04 «Программная инженерия», 27.03.03 «Системные анализ и управление».

621.391/Л64

**Литвинская, О. С. Основы теории передачи информации / О. С. Литвинская. — М. : КНОРУС, 2015. — 168 с.**

Описаны основные положения теории связи, относящиеся к сигналам, модуляции и кодированию цифровой информации. В доступной форме изложены вопросы представления сигналов и способы их математической обработки. Отдельные формулы сопровождаются соответствующими пояснениями. Для студентов, обучающихся дисциплине «Основы теории передачи информации».

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, МЕТОД РЕШЕНИЯ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПОИСКА И ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ПОВЕДЕНИЯ В КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЯХ ДВУХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Поставлена задача, разработана математическая модель и численный алгоритм противоборства двух динамических, восстанавливаемых после отказов, аппаратно-избыточных технических систем, участвующих в конфликтной ситуации, при условии ограничения на ресурсы нападения и защиты, и времени настройки системы после отказа соответствующего блока и замены его исправным. Разработано удобное для практического использования программное обеспечение решения поставленной задачи на персональном компьютере, которая сведена к дифференциальной игре между двумя конфликтующими системами. Программа позволяет исследовать и найти оптимальные стратегии поведения противоборствующих динамических систем в процессе конфликта.

**Ключевые слова:** математическая модель, численный метод, конфликтная ситуация, противоборство, программное обеспечение.

**Введение.** Конфликтные ситуации обычно возникают тогда, когда сталкиваются интересы двух или более враждующих сторон, преследующих различные цели, и между ними возникает противоборство за достижение собственных целей вопреки враждебным действием противоборствующей стороны. Подобные ситуации чаще всего имеют место в военном деле, в области экономики, в предпринимательстве, да и другие области деятельности не являются исключением.

В данной работе в качестве конфликтующих сторон будем рассматривать две идентичные по структуре аппаратно-избыточные динамические технические системы, содержащие основные и резервные компоненты (блоки), подключаемые вместо отказавших основных в процессе конфликта, для восстановления функциональных возможностей соответствующей системы, участвующей в противоборстве.

Каждая из участвующих в конфликте сторон в процессе противоборства систем стремится ослабить противодействующую систему, уменьшая вероятность ее безотказной работы, путем целенаправленного воздействия (атаками) на ее компоненты, увеличивая интенсивность их отказов в течение времени взаимодействия.

В задачу каждой из противоборствующих сторон входит выбор оптимальной стратегии поведения в конфликтной ситуации с целью максимизации соответствующим образом выбранной функции выигрыша за счет оптимального использования

резервных компонентов и времени их подключения вместо отказавших в процессе конфликта.

**Общая постановка задачи противоборства.** Будем полагать, что каждая из двух участвующих в конфликте противоборствующих систем  $S^g(n, m, \bar{s})$ ,  $g=1, 2$  состоит из  $n$  ( $n = n_1 + n_2 + \dots + n_q$ ) основных и  $m$  ( $m = s_1 + s_2 + \dots + s_q$ ) резервных блоков, разбитых на  $q$  групп, в каждой из которых возможна замена отказавших основных только резервными блоками из этой группы (в дальнейшем с целью упрощения систему  $S^g(n, m, \bar{s})$  иногда будем обозначать  $S^g$ ). При этом целочисленный вектор  $\bar{s} = (s_1, s_2, \dots, s_q)$ , соответствующий распределению резервных блоков в  $q$  группах каждой из систем, будем называть вектором резервирования. В процессе противоборства, когда каждая из  $S^g$ -систем стремится за счет средств нападения увеличить интенсивности отказов основных блоков другой системы (закон возрастания интенсивности отказов у противника выбирает атакующая сторона), вектор резервирования каждой из  $S^g(n, m, \bar{s})$ -систем может целенаправленно изменяться в соответствующие моменты времени  $\tau_i$  с целью перераспределения (настройки) резервных  $m$  блоков между  $q$  группами для максимизации вероятности безотказной работы соответствующей системы последовательно в моменты настройки и к моменту окончания противоборства. Вектор  $\bar{\tau} = (\tau_0, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_l)$ , элементы которого соответствуют моментам перераспределения резервных блоков в соответствующей системе, будем в дальнейшем называть вектором настройки

системы и считать, что перераспределение резервных блоков в системе, то есть восстановление работоспособности  $S^g$ -системы после отказов основных блоков в процессе противоборства в соответствующей  $q$  группе и замена их резервными блоками из числа  $m$  происходит с интенсивностью  $\mu^g(t)$ .

Рассматриваемая задача может быть формально сформулирована следующим образом.

При заданных интенсивностях восстановления  $\mu^g(t)$  двух противоборствующих в процессе конфликта систем  $S^g(n, m, \bar{s})$ ,  $g=1, 2$ , восстанавливаемых после отказов, разработать алгоритм оптимального управления поведением каждой из систем, включающий вычисление векторов резервирования  $\bar{s} = (s_1, s_2, \dots, s_q)$ , отвечающих соответствующим моментам настройки, вычисление вектора интенсивности отказов  $\lambda^g = (\lambda_0^g(t), \lambda_1^g(t), \dots, \lambda_q^g(t))$  в  $q$  группах каждой из технических систем, путем замены отказавших основных элементов в процессе противоборства резервными из этой же группы и максимизации вероятности безотказной работы соответствующей противоборствующей системы последовательно в моменты настройки и к моменту окончания противоборства [1].

Очевидно, что аналитическое решение поставленной задачи оптимального управления, участвующих в конфликтной ситуации противоборствующих  $S^g$ -систем, не представляется возможным, поэтому для решения данной задачи целесообразно пользоваться приближенным численным методом, основанным на методе дискретизации, подробно рассмотренным в [2].

Перейдем теперь к рассмотрению решения задачи противоборства в конфликтной ситуации двух рассматриваемых систем в той постановке, для решения которой разработано представленное в данной работе программное обеспечение.

#### Решение задачи противоборства двух $S^g$ систем.

При решении задачи противоборства двух конфликтующих технических систем  $S^g(n, m, \bar{s})$ ,  $g=1, 2$ , восстанавливаемых после отказов, будем пользоваться в дальнейшем терминологией и понятиями теории игр [3].

Пусть системой  $S^1(n^1, m^1, \bar{s}^1)$  располагает и управляет игрок 1, а системой  $S^2(n^2, m^2, \bar{s}^2)$  располагает и управляет игрок 2. Как указано выше, системы  $S^g$ , являются восстанавливаемыми после отказов с интенсивностями восстановления  $\mu^g(t)$ , одинаковыми для всех  $q$  блоков соответствующей системы. Игрок 1 располагает множеством стратегий  $W^1 = \{s^1, \lambda^2, \mu^1\}$ , а игрок 2 располагает множеством стратегий  $W^2 = \{s^2, \lambda^1, \mu^2\}$ , где  $s^g$  — вектор резервирования  $g$ -го игрока;  $\lambda^g = (\lambda_0^g(t), \lambda_1^g(t), \dots, \lambda_q^g(t))$  — вектор интенсивностей отказов в  $q$  группах системы  $S^g$ .

В [2] показано, что поведение восстанавливаемой системы  $S^g(n^g, m^g, \bar{s}^g)$  может быть описано векторным уравнением вида

$$\frac{d}{dt} \bar{P}^g(t) = D^g(\bar{\mu}^g(t)) \bar{P}^g(t), \quad (1)$$

с начальными условиями

$$\bar{P}^g(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где  $P^g(t)$  — вероятность безотказной работы системы  $S^g$  в течение времени  $t$ ;  $\bar{\mu}^g(t) = (\mu_1^g(t), \mu_2^g(t), \dots, \mu_q^g(t))$  — вектор интенсивности восстановления после отказов в  $q$  группах системы  $S^g$ , то есть векторное управление, а матрица  $D^g(\bar{\mu}^g(t))$  — определена в [2]. Для численного решения рассматриваемой задачи обозначим через  $P_k^g(t)$ ,  $1 \leq k \leq m^g$  вероятность того, что в  $S^g(n^g, m^g, \bar{s}^g)$ -системе к моменту времени  $t$  произошло  $k$  отказов.

В дальнейшем будем считать, что число  $q$  групп для игроков 1 и 2 одинаково, то есть векторы  $s^1$  и  $s^2$  имеют одинаковую размерность  $q$ .

Пусть функция выигрыша имеет вид  $K(z_1, z_2) = T^1(S^1(z_1)) - T^2(S^2(z_2))$ .

В процессе противоборства (игры) рассматриваемых систем положим, что игрок 1 старается максимизировать величину  $T^1(S^1(z_1)) - T^2(S^2(z_2))$ , а игрок 2 старается минимизировать эту величину, где  $T^g(S^g(z_g))$  — среднее время работы системы  $S^g$  до отказа, а  $z_g \in W^g$  — стратегия  $g$ -го игрока ( $g=1, 2$ ) из множества стратегий  $W^g$ .

Будем считать, что за время игры  $t_f$  игрок  $g$  ( $g=1, 2$ ) имеет право не более чем  $L$  ( $L \geq 1$ ) раз изменять свой вектор резервирования  $s^g$ , не считая момента  $t=0$ , управляемой им технической системы  $S^g(n^g, m^g, \bar{s}^g)$ . Наконец, вектор  $\tau^g = (\tau_0^g, \tau_1^g, \dots, \tau_L^g)$ ,  $\tau_0^g=0$  назовем вектором настройки  $g$ -го игрока. Очевидно, что  $\tau_L^g < t_f$ .

Исходя из уравнений (1) и (2), получим дифференциальную игру между двумя системами  $S^g(n^g, m^g, \bar{s}^g)$ , описываемую уравнениями

$$\frac{d\bar{P}^1}{dt} = D^1[\bar{s}^1, \bar{\lambda}^1(t), \bar{\mu}^1(t)] \bar{P}^1; \quad \frac{d\bar{P}^2}{dt} = D^2[\bar{s}^2, \bar{\lambda}^2(t), \bar{\mu}^2(t)] \bar{P}^2, \quad (3)$$

с начальными условиями

$$\bar{P}^1(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}^{(m^1+1)}, \quad \bar{P}^2(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}^{(m^2+1)}, \quad (4)$$

где  $\bar{P}^g(t) = \begin{pmatrix} P_0^g(t) \\ P_1^g(t) \\ \vdots \\ P_{m^g}^g(t) \end{pmatrix}^{(m^g+1)}$  — вектор-столбец размерности  $(m^g + 1)$ ;

$D^g$  — матрица размерности  $(m^g + 1) \times (m^g + 1)$ , определенная в [2].

Очевидно, что  $P^g(t) = \sum_{k=0}^{m^g} P_k^g(t)$ , ( $g=1, 2$ ).

Метод решения уравнений, подобных (3), для оптимального восстановления работоспособности противоборствующей системы после отказов, обеспечивающий оптимизацию вероятности безотказной работы  $S^g$ -системы, приведен в [4].

Управления игроков систем  $S^g$ , участвующих в игре, подчиним следующим ограничениям.

$$1. \quad \max_{0 \leq \sigma \leq L} \max_{0 \leq i \leq q} \lambda_{\sigma i}^g \leq M_g \quad (5)$$

Данное условие показывает, что ресурсы нападения игроков ограничены.

$$2. \min_{0 \leq \sigma \leq L} (\tau_{\sigma+1}^n - \tau_{\sigma}^n) \geq a_g \quad (6)$$

Это условие запрещает каждому игроку делать две последовательные настройки «слишком быстро».

$$3. \mu_{\sigma}^2 + \sum_{i=0}^q \lambda_{\sigma}^1 = b_{1\sigma}; \mu_{\sigma}^1 + \sum_{i=0}^q \lambda_{\sigma}^2 = b_{2\sigma}; 0 \leq \sigma \leq L. \quad (7)$$

Данное условие отражает тот факт, что в любой момент времени невозможно превосходить соперника и в нападении, и в защите и что сумма своих ресурсов нападения и защиты каждому игроку в любой момент времени известна.

$$4. \sum_{i=1}^q s_{\sigma i}^g = m^g - \varphi_{\sigma}^g, 0 \leq \sigma \leq L, \quad (8)$$

где  $\varphi_{\sigma}^g = \left[ \sum_{k=0}^{m^g+1} k P_{kl}^g(\tau_{\sigma}^g) \right]$  — математическое ожидание числа отказавших резервных элементов в  $S^g$ -системе, а число  $l$  и величина  $P_{m^g+1,l}^g(\tau_{\sigma}^g)$  находятся соответственно из условий

$$t_l = \tau_{\sigma}^g; P_{m^g+1,l}^g(\tau_{\sigma}^g) = 1 - \sum_{k=0}^{m^g} P_{kl}^g(\tau_{\sigma}^g).$$

Четвертое условие (8) указывает, что к моменту настройки  $\tau_{\sigma}^g$  количество резервных элементов игрока  $g$  уменьшается на величину  $\varphi_{\sigma}^g$ , представляющую собой математическое ожидание числа отказавших элементов в  $S^g$ -системе. Теперь множество стратегий игроков, управляющих системами  $S_i^g$ , можно сузить так, что для  $g$ -го игрока  $\tilde{W}^g = \{\tau^g, C^g, \lambda^g\}$ , где  $C^g$  — матрица, составленная из координат векторов резервирования  $\overline{S}^g$ .

В [4, 5] показано, что рассматриваемая дифференциальная игра двух систем  $S^g(n^g, m^g, s^g)$  сводится к матричной игре  $K(\tilde{z}_1, \tilde{z}_2)$  размерности  $\psi_1 \times \psi_2$ , где  $\tilde{z}_{1i} \in \tilde{W}^1$  —  $i$ -я стратегия игрока 1;  $\tilde{z}_{2j} \in \tilde{W}^2$  —  $j$ -я стратегия игрока 2;  $\psi_1, \psi_2$  — количество стратегий для 1-го и 2-го игроков соответственно.

Более того, обозначив  $\alpha_{ij} = K(\tilde{z}_{1i}, \tilde{z}_{2j})$ , получим нормальную форму матричной игры  $A = (\alpha_{ij})$  без ограничений на стратегии игроков, так как все ограничения (5)–(8) учтены при построении матрицы  $A$  и множеств  $\tilde{W}^1, \tilde{W}^2$ . Как известно [3], нормальная форма матричной игры всегда имеет решение если не в чистых, то в смешанных стратегиях.

Будем искать решение матричной игры  $A$  в смешанных стратегиях, так как выяснить существование седловой точки в матрице  $A$  практически невозможно даже для небольших чисел  $\omega, L$  и достаточно малых значениях  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ , точности определения управления  $\lambda^g(t)$ .

Для решения применим метод фиктивного разыгрывания [3], который по существу является имитацией многократного повторения игры. В соответствии с этим методом определяются две последовательности векторов  $\{X^{\alpha}\}, \{Y^{\alpha}\}$  следующим образом.

Первоначально

$$X_i^0 = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ Y_j^0 = 0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Далее, действуя по индукции, полагают, что  $X^{\alpha-1}$  и  $Y^{\alpha-1}$  выбраны и найдены такие  $i$  и  $j$ , что

$$k(\alpha) = i, \text{ максимизирует } \sum_{j=1}^{\psi_2} \alpha_{ij} Y_j^{\alpha-1},$$

$$\text{и } c(\alpha) = j, \text{ минимизирует } \sum_{i=1}^{\psi_1} \alpha_{ij} X_i^{\alpha-1}.$$

Если существует набор решений, при которых указанные выше выражения достигают максимума или минимума, то любую из этих стратегий (максимизирующую или минимизирующую) можно взять в качестве решения [1].

При этом

$$X_i^{\alpha} = \begin{cases} X_i^{\alpha-1}, & \text{если } i \neq k(\alpha), \\ X_i^{\alpha-1} + 1, & \text{если } i = k(\alpha), \end{cases}$$

$$Y_j^{\alpha} = \begin{cases} Y_j^{\alpha-1}, & \text{если } j \neq c(\alpha), \\ Y_j^{\alpha-1} + 1, & \text{если } j = c(\alpha). \end{cases}$$

Две последовательности векторов определяют стратегии  $\overline{x}^{\alpha} = \frac{1}{\alpha} \overline{X}^{\alpha}$ ,  $\overline{y}^{\alpha} = \frac{1}{\alpha} \overline{Y}^{\alpha}$ . При этом предел любой сходящейся последовательности  $\{\overline{x}^{\alpha}\}$  и  $\{\overline{y}^{\alpha}\}$  является оптимальной стратегией.

**Программное обеспечение для решения рассматриваемой задачи.** Для реализации алгоритма численного решения задачи противоборства двух динамических аппаратно-избыточных, восстанавливаемых после отказов технических систем, содержащих основные и резервные компоненты (блоки),

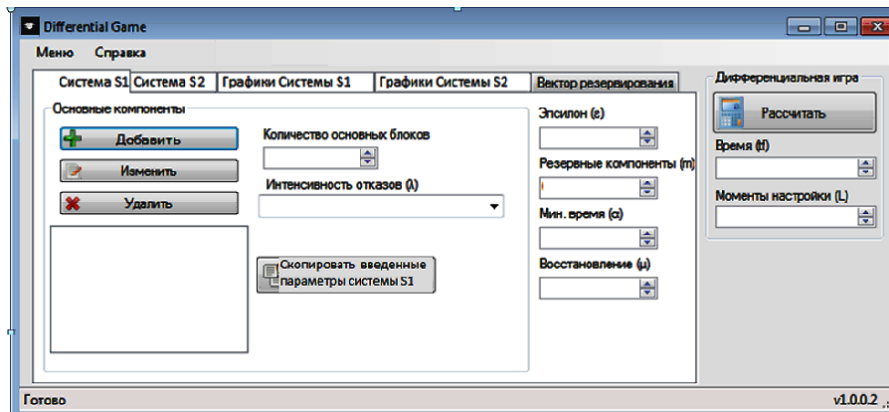


Рис. 1. Интерфейс ПО

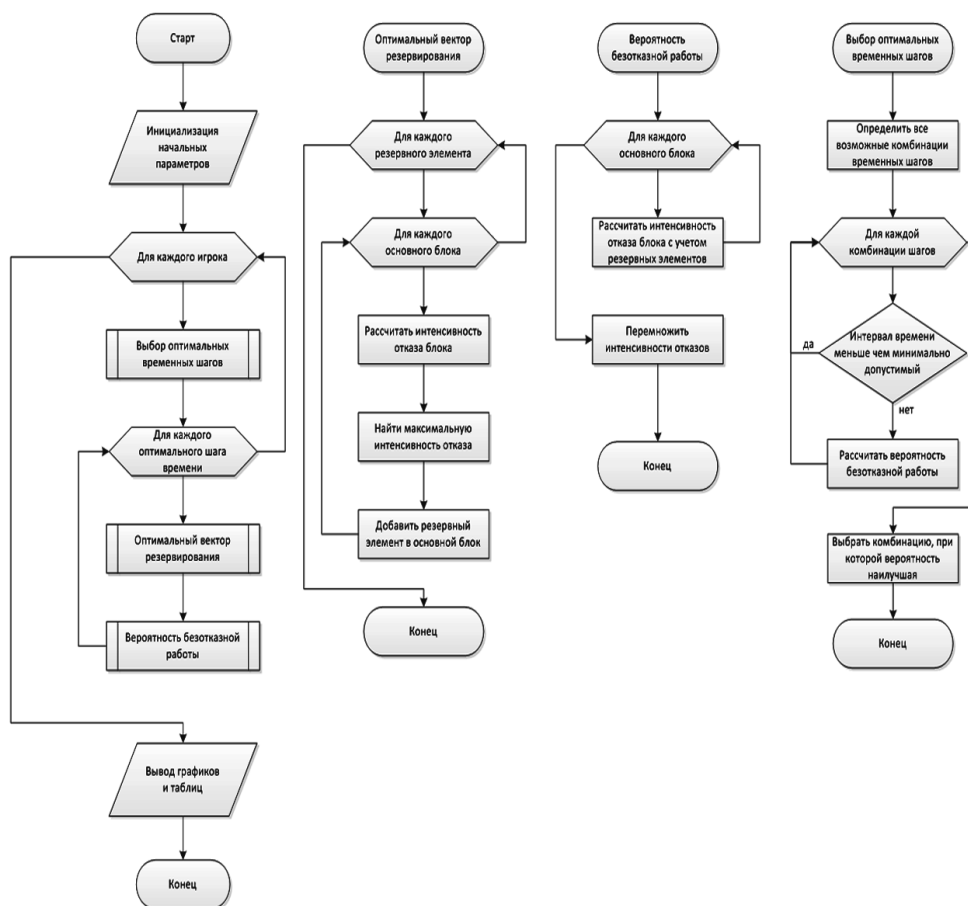


Рис. 2. Схема алгоритма программы

который подробно описан в [5], разработано программное обеспечение (ПО) для проведения всех вычислительных процедур.

В качестве технической основы для написания программного кода выбран язык C#, так как он является достаточно простым, но в то же время выразительным, что обеспечивает высокую скорость разработки без снижения качества кода. Для визуальной реализации использована платформа Microsoft.NET, обеспечивающая достаточно высокую производительность вычислительных приложений. Различные компоненты ПО имеют вид исполняемых файлов (как с графическим интерфейсом, так и консольным), разделяемых библиотек, встраиваемых модулей и веб-приложений.

Общий вид интерфейса ПО при запуске имеет следующий вид (рис. 1). Интерфейс разработан максимально удобным и понятным для пользователя, знакомого с работой в операционной системе Windows.

Программа имеет справочную систему, в которой изложены основные понятия, используемые при решении поставленной задачи.

Структура меню ПО представляет собой разделенные по функциям вложенные выпадающие подменю. В верхней части главного меню (рис. 1) собраны все функции модулей программы, что обеспечивает быстрый вызов любых необходимых действий. Программа состоит из следующих окон: исходные данные системы  $S^1$ ; исходные данные системы  $S^2$ ; графическая иллюстрация вычислений системы  $S^1$ ; графическая иллюстрация вычислений системы  $S^2$ ; вычисление вектора резервирования.

Разработанное ПО выполняет следующие функции: ввод исходных данных решаемой задачи; расчет оптимальной стратегии использования резервных компонентов, вместо отказавших основных блоков в процессе противоборства, с указанием времени подключения резервных элементов и координат вектора резервирования, определяющих оптимальную стратегию расположения резервных компонентов; расчет вероятности безотказной работы соответствующей противоборствующей системе; вычисление вектора интенсивности отказов, каждой из  $S^2$ -систем.

На рис. 2 представлена схема, реализующая общий алгоритм работы программы.

Работа ПО осуществляется следующим образом. После ввода в программу исходных данных происходит инициализация начальных параметров. На данном этапе информация, введенная пользователем, считывается из соответствующих элементов памяти и проверяется на соответствие входному параметру.

Вкладка «Меню», функционирующая во всех окнах программы, позволяет сохранить введенные пользователем данные для расчета и результаты вычислений.

Для определения результатов вычислений, пользователю при запуске программы необходимо задать основные параметры игроков, обеспечивающих оптимальное решение: количество основных блоков  $S^2$ -систем, значение функции интенсивности отказов основных блоков, эпсилон  $\varepsilon$ , отвечающая за точность вычисления, количество резервных компонентов  $m$ , минимальное время  $a$  подключения

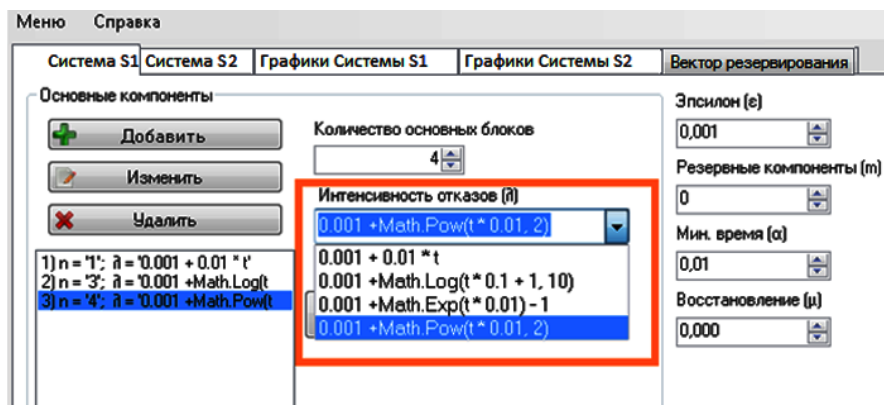


Рис. 3. Изменение функции интенсивности отказов объектов

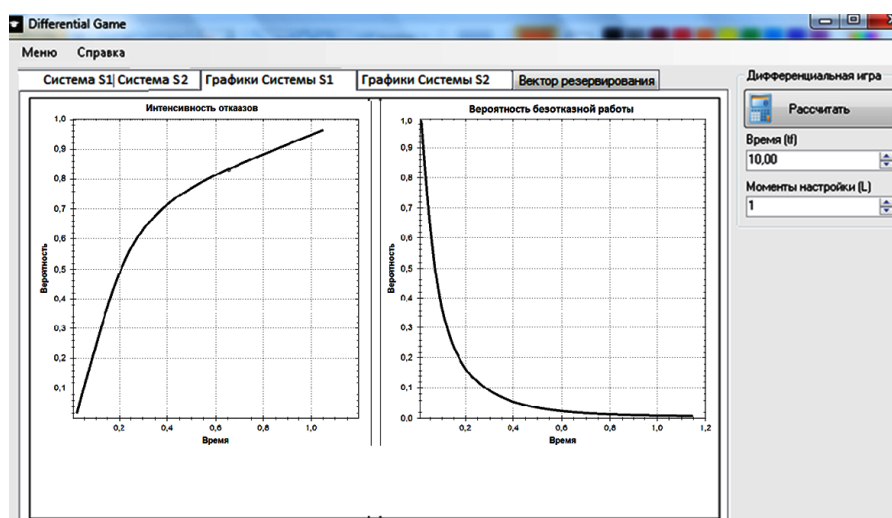


Рис. 4. Графическая иллюстрация вычислений технической системы

Первый игрок		Второй игрок	
Время	ВекторРезервио	Время	ВекторРезервио
0	{1; 3; 3}	0	{1; 1; 1}
18,61397111757...	{0; 7; 0}	17,59893481477...	{1; 1; 1}
25,90723229141...	{0; 0; 0}	24,92573893544...	{0; 0; 0}
36,13075364849...	{0; 0; 0}	35,29064178346...	{0; 0; 0}
50,54284869951...	{0; 0; 0}	49,94833053608...	{0; 0; 0}
70,95820109049...	{0; 0; 0}	70,68176269531...	{0; 0; 0}
100	{0; 0; 0}	100	{0; 0; 0}

Рис. 5. Результаты вычислений

резервных компонентов, интенсивность восстановления  $\mu$  отказавших блоков.

В программе предусмотрено изменение функции интенсивности отказов основных блоков противоборствующих систем по четырем законам (рис. 3). Она может принимать следующие функции: линейная, квадратичная, экспоненциальная, логариф-

мическая. Пользователь программы также может самостоятельно изменять функции интенсивности отказов. Для этого достаточно выбрать один из четырех законов и вручную его редактировать.

После нажатия кнопки «Рассчитать» программа выводит на экран графические расчеты каждой из  $S$ -систем, расчет вектора резервирования,

определяющего оптимальную стратегию расположения резервных компонентов по  $q$ -группам и расчет их оптимального времени подключения (рис. 4, 5).

**Заключение.** Разработанные математическая модель, численный алгоритм, программное обеспечение, реализующие процедуру поиска и исследования оптимальных стратегий поведения в конфликтных ситуациях двух противоборствующих аппаратно-избыточных, восстанавливаемых после отказов технических систем, зарегистрировано в фонде электронных ресурсов и получено свидетельство о государственной регистрации с присвоенным номером 20939 [6]. Данное ПО, легко реализуемое на персональных компьютерах, может использоваться для решения широкого круга задач противоборства не только технических систем, но и систем иной физической природы.

#### Библиографический список

1. Потапов, В. И. Постановка двух задач оптимального управления подвижной, структурно-перестраиваемой избыточной системой, управляемой по каналам связи / В. И. Потапов // Динамика систем, механизмов и машин : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию ОмГТУ. — Омск : ОмГТУ, 2012. — С. 276–278.
2. Потапов, В. И. Новые задачи оптимизации резервированных систем / В. И. Потапов, С. Г. Братцев. — Иркутск : Изд-во Иркутского ун-та, 1986. — 112 с.

3. Оуэн, Н. Г. Теория игр и игровое моделирование. Исследование операций. Методологические основы и математические методы. В 3 т. / Н. Г. Оуэн. — М. : Мир, 1981. — Т. 1. — С. 513–549.

4. Потапов, В. И. Противоборство технических систем в конфликтных ситуациях: модели и алгоритмы / В. И. Потапов. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2015. — 168 с.

5. Потапов, В. И. Дифференциальная игра между подвижными и неподвижными объектами / В. И. Потапов // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2012. — № 3 (113). — С. 268–271.

6. Горн, О. А. Программное обеспечение «Решение задачи противоборства двух избыточных, восстанавливаемых после отказов технических систем» / В. И. Потапов, О. А. Горн ; заявитель и правообладатель Омский государственный технический университет // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 20939 от 01.06.2015 г. — М. : ОФЭРНиО, 2015.

**ПОТАПОВ Виктор Ильич**, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой информатики и вычислительной техники, заслуженный деятель науки и техники РФ.

**ГОРН Ольга Анатольевна**, аспирантка, ассистент кафедры информатики и вычислительной техники. Адрес для переписки: Anatole4ka@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 09.06.2016 г.

© В. И. Потапов, О. А. Горн

УДК 621.398:681.5.07:338.467.4

**В. Н. ИВАНОВ**  
**А. В. ИВАНОВ**

Омский государственный  
технический университет  
Лицей № 145, г. Омск

## КОНЦЕПЦИЯ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Изложена концепция развития систем интернета вещей, раскрываются основные задачи общества в этой сфере, пути преодоления наметившихся проблем развития, как со стороны принятия таких систем потребителями, так и выбора направлений новых разработок со стороны производителей. Особое внимание уделяется психологическим аспектам жизни человека и общества в изменяемой такими системами среде. Приведены этапы развития систем интернета вещей. На основе анализа этих этапов одним из основных направлений дальнейшего развития видится увеличение систем основанных на сетевом использовании вещей, преобразующих материальный мир. Возможность массового дистанционного использования в ближайшее время таких устройств ставит ряд нашедших отражение в статье вопросов перед обществом, отвечать на которые нужно уже сегодня.

**Ключевые слова:** интернет вещей, развитие гаджетов, информационная система, телеуправление, потребительские предпочтения.

**1. Введение.** Прошла четверть века с тех пор, когда Джон Ромней в 1990 году сделал первое управляемое по сети интернет-устройство не относящееся к офисному оборудованию — тостер, но подавляющее большинство читателей таким

устройством так никогда и не воспользовалось. Данный девайс не единственный, кто не получил своего развития, внедрения в производство и потребление — не нашёл свой сегмент рынка. Тем не менее мир вещей, работающих в одной системе

с интернетом, рос в геометрической прогрессии, а это свидетельствует о массовом завоевании доверия населения к ряду таких устройств. Прошло ещё девять лет, и в 1999 году основатель Auto-ID Center Кевин Эштон описал происходящее явление термином «интернет вещей» [1]. По результатам исследований компании Cisco IBSG количество подключённых к интернету вещей превысило количество жителей Земли на рубеже 2008–2009 годов, а в 2015 году на одного жителя Земли уже приходилось 3,5 подключённых к интернету вещи [2]. Из выше приведённой информации читателю может показаться, что проблем с развитием интернета вещей не существует. Однако такие существенные объёмы относятся в основном к достаточно малому количеству семейств появившихся вещей, каждое из которых уже практически достигло насыщения на своих долях рынка, а новые представители таких семейств вещей всё чаще дарят миру не принципиально новые возможности, а лучшие характеристики уже существовавших. Всё это свидетельствует о наметившемся кризисе развития интернета вещей.

В настоящее время на фоне дорожающих инвестиционных ресурсов, замедления или прекращения роста экономики большинства стран, а также острой конкуренции, особую ответственность приобретает выбор направлений изобретения и внедрения таких вещей. При этом реакция потребителей на новые вещи, работающие с интернетом, хотя отчасти и рассчитывается, отчасти формируется маркетинговыми подразделениями компаний, но по-прежнему отчасти остаётся непредсказуемой и преподносит время от времени сюрпризы: от полного игнорирования до массового ажиотажного спроса. По сути, представление о системах интернета вещей сформировалось или замедлилось в своём развитии. Различные профессиональные ассоциации рассматривают иногда процесс последующего развития систем интернета вещей с различных точек зрения [3]. Прорывные решения в этом вопросе, подобно тому, как это было с внедрением облачных технологий [4], появляются крайне редко. Связано это во многом со стереотипностью понимания возможностей таких систем и потребностей в них, уходом от первоначальных, заложенных четверть века назад идей основоположников, направленных на повышение комфорта и благосостояния людей в сферу их виртуального удовлетворения.

Из вышеуказанного становится ясно, что обществу в настоящее время требуется новая, обоснованная концепция развития систем интернета вещей.

**2. Постановка цели и задач.** Целью данной работы является раскрытие и объяснение потенциальных путей развития систем интернета вещей на концептуальном уровне на ближайшие и отдалённые периоды времени.

Представляемая в статье концепция направлена на решение следующих задач.

Во-первых, требуется представить векторы потенциальных ожиданий массового потребителя как от вещей, взаимодействующих с интернетом, так и от их систем.

Во-вторых, необходимо сформулировать ожидания со стороны разработчиков систем интернета вещей в развитии применяющихся технологий.

В-третьих, предлагается заглянуть в будущее с точки зрения сохранения и изменения формальных и неформальных стандартов, норм поведения,

применяемых обществом, обусловленных развитием систем интернета вещей.

**3. Описание предмета исследований.** Для решения первой из поставленных в работе задач необходимо рассмотреть этапы технологического развития принятых потребителем вещей, взаимодействующих с интернетом. Делать это следует не с точки зрения хронологического выстраивания этапов, а именно технологического развития.

Укрупненно можно выделить четыре этапа развития систем интернета вещей. Первый этап дал системы, основанные на датчиках, снимающих и передающих по средствам интернета информацию. Второй этап развития был связан с появлением систем, основанных на возможностях систем первого этапа, а также устройствах, преобразующих и обрабатывающих информацию. Третий этап связан с системами, которые могут включать возможности систем первого и второго этапов, а также содержат устройства, открывающие возможности сетевого общения и обмена информацией, причём как между людьми, так и вещами. Четвёртый этап подарил людям системы, которые могут включать в себя возможности систем выше приведённых этапов, а также содержат устройства, преобразующие материальный мир.

Если читатель задастся целью проанализировать степень насыщения настоящих и потенциальных потребностей общества вещами, относящихся к каждому из приведённых этапов развития систем интернета вещей, то обязательно заметит достаточно высокий уровень насыщения рынка вещами и их системами, относящимися к первым трём этапам, и скудное насыщение вещами и их системами четвёртого этапа развития систем интернета вещей, такими, например, как сети коллективного использования 3D-принтеров. Следует отметить, что системы с обычными принтерами в полной мере нельзя отнести к вещам четвёртого этапа развития, так как они рассматриваются лишь как средство перемещения информации на твёрдый носитель. Именно создание систем интернета вещей, дистанционно преобразующих материальный мир, несут в себе наивысший потенциал новых завоеваний на рынке из-за нереализованности большого числа потребностей людей.

Работая над созданием и внедрением устройств четвёртого этапа развития систем интернета вещей, следует учитывать их относительно высокую себестоимость и инертность мышления потребителей, так как эти системы затрагивают не только информационный, но и материальный мир человека. Поэтому, внедрение таких систем целесообразно, как это делалось со сложными техническими изделиями и ранее, начинать не с массового потребителя, а с организаций, которые, в свою очередь, будут удовлетворять потребности широких масс населения.

Рассмотрим один из результатов исследований авторов статьи, раскрывающих суть изложенного выше. Известен спор о том, насколько нужен холодильник, подключаемый к интернету. Для опроса было решено выбрать аудиторию возрастом от десяти до сорока лет, регулярно использующих в своей жизни интернет, как потенциально наиболее лояльно относящуюся к рассматриваемой системе интернета вещей. Для этого был организован опрос на различных русскоязычных серверах одной из популярных сетевых игр, ориентированной на указанный возраст. Таким образом, в результате опроса



граждан России, Белоруссии, Казахстана и Украины была составлена репрезентативная выборка.

Первый вопрос был сформулирован так: «Вы бы хотели домой холодильник, заказывающий доставку кончающихся продуктов по интернету или лучше продукты покупать самим?» Ответы распределились следующим образом: да — 25,7 %, нет — 74,3 %. При этом положительный ответ иногда сопровождался рациональными примерами, ориентированными на удобства для потребителей: вещь может пригодиться для людей с ограниченными двигательными возможностями; продукты не закончатся в самый неподходящий момент; не придётся идти за покупками в некомфортную погоду.

Комментарии отрицательных ответов опирались в основном на психологические аспекты замены одного процесса приобретения продуктов на другой: в магазине или на рынке можно выбрать каждый конкретный объект покупки в отличие от автоматического интернет-заказа; при традиционном методе можно покупать дешевле; нравится сам процесс шопинга; на настройку и эксплуатацию такой вещи придётся регулярно тратить больше времени, чем на посещение торговых заведений; необходимость идти за покупками заставляет иметь полезную регулярную двигательную активность.

Второй вопрос был сформулирован следующим образом: «Как Вы думаете, нужен ли такой холодильник организации общественного питания, у которой устоявшийся перечень поставщиков и номенклатура продуктов?» Все респонденты ответили на такой вопрос утвердительно.

Данный пример, на взгляд авторов, красноречиво показывает, как важно не просто изобрести вещь, работающую с интернетом, или систему с такими вещами, но и правильно позиционировать её на рынке, найдя целевой сегмент для входа. В дальнейшем границы рынка раздвинутся и, например, холодильник, подключаемый к интернету, станет таким же обычным явлением в доме большинства, как сегодня средства сотовой связи, подключаемые к интернету.

Решение второй из рассматриваемых в статье задач определяется движением по двум направлениям технологического развития.

Для совершенствования систем интернета вещей, ориентированных на преобразование материального мира, важно дальнейшее улучшение параметров элементной базы и сетей: развитие и унификация протоколов, обеспечение высокой пропускной способности и скорости сетей, действенного решения вопросов безопасности. Разработчики систем ожидают роста технической и технологической культуры потребителей, их массовой готовности применять новые, современные системы интернета вещей, так как именно большие системы интернета вещей могут давать наиболее ощутимый синергетический эффект. К сожалению, никто из опрошенных даже не предположил, что холодильник, подключённый к интернету, позволит покупать продукты дешевле из-за автоматизации процесса не только заказа, но и его приёма, обработки, комплектования, транспортировки, учёта, так как все эти процессы так же будут в системе интернета вещей. В этой системе может работать и иное оборудование для хранения продуктов, приготовления из них блюд, более того такое оборудование может быть интегрировано в единый многофункциональный комплекс. При этом будут сбываться слова Марка Вейзера о том, что наиболее глубокие технологии как бы исчезают,

вплывая в ткань повседневной жизни, пока не станут полностью неотличимы от неё [5].

Готовность бизнеса и потребителей применять новые технологии обслуживания, основанные на системах интернета вещей и доступные уже сегодня, может привести к неожиданным последствиям. Особенно значимым может быть эффект от массового внедрения нескольких таких технологий. Например, при массовом внедрении интернета вещей всего лишь в три сферы: образование, медицину и торговлю измениться может сам уклад жизни из-за осознания населением потери преимуществ урбанизации. Рассмотрим место систем интернета вещей в вышеуказанном примере, который, на взгляд авторов, особенно актуален для стран с большой территорией и высокой степенью урбанизации, таких как, например, Австралия, Канада, Россия.

Проведя опрос граждан, поменявших за последние полвека место проживания с сельской местности на город, было установлено всего четыре главные причины произошедшего. Остальные причины являлись их производными. При этом одна из причин — отсутствие связи в последние десятилетия устранена благодаря распространению сотовой и радиосвязи, интернет-совместимых устройств. Оставшиеся три причины: труднодоступность образования, медицины и товаров. Работа в сфере удовлетворения данных потребностей сельских жителей, с одной стороны, несёт в себе большие возможности для бизнеса, а с другой — требует применения систем интернета вещей.

Рассмотрим фермерское хозяйство. Как правило, оно ведётся семьёй и находится на некотором удалении от образовательных, медицинских и торговых учреждений, что и вызывает трудности, особенно когда в такой семье появляются дети или есть люди преклонного возраста. Уже сегодня существуют разработки, которые при помощи систем интернета вещей позволяют отчасти или полностью устранить эти трудности. Более того, такие вещи, как компьютер, web-камера, сканер, уже давно стали обычными в каждом доме. Что мешает проводить школьные занятия в режиме видеоконференции? Система интернета вещей позволяет учителю заглянуть в тетрадь каждому школьнику как в режиме видеоконтроля, так и через сканируемое и передаваемое системой изображение по сети в виде файла. Дополнительно появляется возможность расширения применения интерактивных средств и методов обучения. Освоить использование такой системы интернета вещей может каждый школьник.

По этому пути дистанционного обучения уже идут многие университеты, но школьное образование упорно сопротивляется. Задумаемся, какой смысл в преодолении с некоторой долей риска больших расстояний, ежедневной потере времени ради встречи в одном месте людей, одна часть из которых учит другую, пользуясь чаще всего теми же техническими средствами, которыми могли бы воспользоваться и дома, находясь в комфортных условиях. Снизится уровень инфекционных заболеваний среди детей, уровень насилия по отношению к ним. Конечно, будут дисциплины, которые требуют очного присутствия по ряду тем. Потребуется решать вопрос общения ребёнка. В целом же система интернета вещей может уже сегодня решать задачу дистанционного образования, и передовые учебные заведения занимают этим.

Аналогично системы интернета вещей могут помогать и в медицине. На сегодня накоплено уже много разработок в области создания датчиков и систем дистанционного медицинского контроля, первичного осмотра и лечения [6, 7]. Никто не возьмётся утверждать, что это всегда заменит очный приём у врача или тем более стационарное лечение, но большой пласт проблем медицинского обслуживания снимет, так как благодаря современным датчикам-анализаторам, работающим в системе медицинского обслуживания, появится возможность своевременно предупреждать как самих граждан, так и медиков о предкризисной или кризисной ситуации для организма. Это позволит получить своевременную, основанную на точных диагностических параметрах помощь.

Незаменимую помощь могут оказать и уже оказывают системы интернета вещей в процессах обеспечения населения товарами, в том числе проживающих в сельской местности. Такие системы пронизывают всю логистическую цепочку от этапа дистанционного формирования корзины заказа до момента получения товаров. При этом открывающиеся возможности автоматизации и оптимизации логистических процессов и массовость такого обслуживания позволяют вести успешно подобный бизнес, поддерживая уровень ценобразования близким к тому, что складывается в розничной городской торговле.

Исчезновение благодаря использованию систем интернета вещей, ощутимых препятствий к комфортному проживанию в сельской местности может завершить процесс урбанизации и открыть возможность к заселению ранее не освоенных территорий. Ведение же бизнеса в указанных сферах деятельности с применением систем интернета вещей представляется в обозримом будущем актуальным с экономической точки зрения.

Решение третьей поставленной в данной статье задачи самое сложное с точки зрения психологии массового сознания, так как люди и вещи будут приобретать в системах интернета вещей не только своих виртуальных двойников, к чему в полной мере общество не может привыкнуть и адаптироваться, но и материальных [8]. При этом возможности таких устройств уже сейчас превышают не только возможности человека, но и в большинстве случаев возможности его фантазии по их применению. Современные роботизированные производственные комплексы, несмотря на свою компактность, позволяют с использованием технического зрения сканировать пространство, находить заготовку, сравнивать её с имеющейся в памяти управляющего устройства 3D-моделью или сканировать образец, выбирать оптимальную последовательность технологических операций и их режимы, выполнять механическую обработку с точностью, измеряемой в микронах. Эти возможности могут массово поступить в сетевой доступ. Готово ли законодательство государстве ко всем формам их использования? В настоящее время службы безопасности в тупик поставила даже система интернета вещей по оформлению заказов и доставке пиццы с использованием беспилотных летательных аппаратов. А впереди нас ждут системы с подключёнными к интернету помощниками, причем в том числе с коллективным доступом, которые будут позволять не только за тысячи километров от дома поливать в нём цветы, ухаживать за домашними животными, брать и пролистывать книги, передавая видеоинформа-

цию, но и получать при помощи таких дистанционно управляемых помощников коллективного пользования возможности по преобразованию материального мира и общению в общественных местах. Технологически всё это уже возможно, поэтому необходимо разрабатывать стандарты поведения и взаимодействия людей и таких систем интернета вещей.

Разработчики систем интернета вещей могут ожидать развития бизнес-технологий и их активного внедрения в этих сферах экономической деятельности. Однако эти ожидания могут быть напрасны, так как владельцы компаний, так же как их менеджмент, часто далеки от профессиональных знаний по этой проблеме. Поэтому трудно организовать бизнес с использованием новых систем интернета вещей на основе принципиально отличающейся от традиционной идеи экономической и социально эффективных процессов, происходящих за счет применения более совершенных технических решений. Эта проблема очень острая, и без ее решения внедрение передовых систем интернета вещей в широкое применение населением и компаниями будет тормозиться как со стороны государственных органов — из-за потенциальных угроз, иногда гипотетических, так и производителей и потребителей таких систем — из-за чувства неуверенности, страха перед возможными последствиями их применения в обществе, где нет правовых норм по этому вопросу, и каждый случай может привести к непредсказуемым последствиям.

Принятые стандарты и нормы поведения в общении в настоящий момент преобразовываются под влиянием мессенджеров и других сетевых программ, которые работают с устройствами, соединёнными посредством интернета, но это только начало процесса. Системы интернета вещей, вовлеченных в преобразование материального мира, будут все более и более иметь влияние на различные аспекты нашей жизни, изменяя её и изменяя отношение к новшеству. Например, если система мусоропровода является теперь нормой для многоэтажного жилого дома, то в будущих архитектурных решениях могут закладываться в проектах таких домов товаропроводы для автоматизированной доставки заказанных вышеупомянутыми интернет-холодильниками продуктов, а также других товаров, заказанных иными устройствами, которые работают с интернетом. Сетевые интернет-совместимые роботы-помощники могут сузить круг общепринятых причин ежедневного перемещения людей на расстояние. Чтобы читателю было понятно, как это будет происходить, можно сравнить рассматриваемый процесс с исследованием космоса. Все помнят восхищение от первого полета людей на Луну, а теперь, говоря о полете человека на Марс, практически отправляют туда роботов-помощников с дистанционным управлением.

**4. Заключение.** Возможное развитие систем интернета вещей, концептуально описанное в статье, открывает непосредственные перспективы создания и применения новшеств в этой сфере. Вскрыты задачи, над решением которых общество должно работать уже сейчас. Проработка и внедрение даже отдельных, приведённых выше потенциальных путей развития систем интернета вещей, их инфраструктурного и законодательного обеспечения сулит, на взгляд авторов, существенный результат, как социальный, так и экономический. Человечество уже вошло в пространство систем интернета

вещей, и данная статья может оказать помощь в том, куда и как в этом пространстве двигаться, в каких направлениях бизнесу в дальнейшем искать выгоду в улучшении жизненного уровня людей и при помощи какого рода систем интернета вещей. Задача разработчиков таких систем еще сложнее — им нужно всегда двигаться на шаг впереди запросов самых передовых социальных групп. Поэтому для них представленная система взглядов авторов статьи на будущее развитие систем интернета вещей также может принести пользу.

#### Библиографический список

1. Ashton K. That 'Internet of things' thing // RFID Journal : электрон. журн. — 22 June 2009. — Режим доступа : <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986> (дата обращения: 14.06.2015).
2. Evans D. The Internet of Things. How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything // Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). — April 2011. — Режим доступа : [https://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](https://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf) (дата обращения: 14.06.2015).
3. Stankovic, J. A. Research directions for the Internet of things / J. A. Stankovic // Internet of Things, IEEE, vol. 1, Is. 1, 2014, pp. 3–9.

4. Marston S., Li Z., Bandyopadhyay S., Zhang J., Ghalsasi A. Cloud computing — the business perspective // Decision Support Systems, Vol. 51, Is. 1, 2011, pp. 176–189.
5. Weiser M. The computer for the 21st century // Scientific American, Vol. 265, Is. 3, 1991, pp. 94–104.
6. Mukhopadhyay, S. C. Wearable sensors for human activity monitoring: a review / S. C. Mukhopadhyay // Sensors Journal, IEEE, Vol. 15, Is. 3, 2015, pp. 1321–1330.
7. Rodgers M. M., Pai V. M., Conroy R. S. Recent advances in wearable sensors for health monitoring // Sensors Journal, IEEE, Vol. 15, Is. 6, 2015, pp. 3119–3126.
8. Robbie, B. A swiveling proxy that will even wear a tutu / B. Robbie // New York Times, 8 June 2013, p. A10.

**ИВАНОВ Виталий Николаевич**, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры менеджмента Омского государственного технического университета.

Адрес для переписки: [vitaly-ivanov@ya.ru](mailto:vitaly-ivanov@ya.ru)

**ИВАНОВ Арсений Витальевич**, учащийся 11 Б класса лицея № 145, г. Омск.

Адрес для переписки: [superkriger@yandex.ru](mailto:superkriger@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 14.06.2016 г.

© В. Н. Иванов, А. В. Иванов

УДК 004.5

**О. В. БАТЕНЬКИНА**

Омский государственный  
технический университет

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ЮЗАБИЛИТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**В статье представлены методы, используемые в процессе юзабилити-тестирования для оценки удовлетворенности пользователя, а также пример разработанных тестовых заданий, пригодных для тестирования удовлетворенности пользователя при работе с веб-сайтами. Применение этих заданий обеспечивает получение многокомпонентной оценки удовлетворенности пользователя интерфейсом интернет-сайтов.**

**Ключевые слова:** юзабилити-тестирование, удовлетворенность пользователей, методы оценки удовлетворенности информационных систем, веб-сайт.

Интерфейсы являются основой взаимодействия всех современных информационных систем. Основным назначением интерфейсов является связь пользователя с персональным компьютером, организация понятного для пользователя использования ресурсов и выполнения поставленных задач. Поэтому выявление критериев оценки качества при разработке интерфейса программного продукта — важный этап, так как на данном этапе нужно учитывать не только эргономичность и быстроту работы интерфейса, но и его психологическое воздействие на человека.

Возможности взаимодействия пользователя и системы при обработке данных ограничены как физическими, так и психологическими особенностями человека.

Для оценки деятельности пользователя при работе с программным обеспечением необходимо провести юзабилити-тестирование.

Международными стандартами термин «юзабилити» определяется как: «свойство продукции, при наличии которого установленный пользователь может применить продукцию в определенных условиях использования для достижения установленных

Методы оценки удовлетворенности использования с непосредственным участием пользователей

Название метода	Краткое описание методов	Недостатки и ограничения метода	Преимущества метода
Наблюдение за работой пользователей	Тщательный и систематический сбор информации о поведении и действиях пользователей в контексте определенных задач во время работы пользователя с программой	— для правильного толкования данных необходим профессиональный опыт; — анализ данных требует больших временных затрат; — отсутствует понимание хода мыслительного процесса пользователя во время работы с программой	— описываются реальные действия пользователя; — метод может быть использован в реальных условиях
Анализ критических событий	Систематический сбор данных о специфических событиях (позитивных или негативных), произошедших в процессе работы пользователя с программой	— для выполнения тестирования требуется много времени; — несоответствующие события, включенные в отчет, могут влиять на достоверность анализа	— осуществляется сбор данных о причинах проблем; — описываются реальные действия; — ориентированность на события с высокими требованиями к пользователям
Измерения, связанные с рабочими характеристиками	Сбор данных о количественно измеримых рабочих характеристиках с целью понимания воздействия проблем, связанных с юзабилити	— требуется какая-либо рабочая версия системы или продукта; — не всегда раскрывается причина проблем	— легкость сравнения результатов; — осуществляется сбор количественных данных
Опрос	Осуществляется по аналогии с анкетированием, но с большей гибкостью и при личном контакте с опрашиваемым лицом	— осуществление подробного анализа требует больших временных затрат; — вероятность наличия ошибок (как в вопросах, так и в ответах); — для правильного толкования данных требуется наличие профессионального опыта	— быстрое получение обзора мнений пользователей; — гибкость, позволяющая вникнуть в ответы пользователей
Анкетирование	Непрямые методы оценки, с помощью которых осуществляется сбор мнений пользователей об интерфейсе пользователя в predetermined анкетах	— самооценка может являться ненадежным показателем оценки рабочих характеристик; — существует вероятность наличия ошибок в анкете, как в вопросах, так и в ответах	— раскрываются субъективные предпочтения пользователей; — легкость управления процессом тестирования; — быстрота осуществления тестирования
Совместное проектирование и оценка	Методы, которые делают возможным сотрудничество разных видов участников (пользователей, разработчиков продукта и специалистов по юзабилити) при осуществлении оценки или проектирования систем	— возможность выявления разногласий между участниками; — во время использования метода невозможно осуществить сбор данных о выполнении пользователями задач	— быстрота осуществления тестирования; — возможность использования с ранних этапов проектирования; — улучшает обмен информацией и обучение среди пользователей, экспертов по юзабилити, проектировщиков и лиц, отвечающих за разработку
Метод «Мысли вслух»	Пользователи постоянно произносят вслух все свои мысли, убеждения, ожидания, сомнения, открытия во время использования тестируемой системы	— может доставлять неудобства некоторым пользователям; — осуществление подробного анализа требует больших временных затрат; — во время использования метода невозможно осуществить сбор данных о выполнении задачи	— быстрота осуществления тестирования; — сбор информации с помощью изучения мыслительного процесса пользователя; — гибкость, позволяющая вникнуть в ответы пользователей
Творческие методы	Методы, которые включают выявление свойств новых продуктов и систем, получаемых обычно в результате взаимодействия членов группы, при этом часто членами таких групп являются пользователи	— осуществление детального анализа требует временных затрат; — существует вероятность ошибок	— требуется наличие практических знаний; — хорошо подходят для использования на ранних этапах проектирования

Методы оценки удовлетворенности использования с непрямым участием пользователей

Название метода	Краткое описание методов	Недостатки и ограничения метода	Преимущества метода
Подходы, основанные на использовании моделей	Использование моделей, являющихся абстрактным представлением оцениваемого продукта, позволяющих прогнозировать действия пользователей	— большие временные затраты; — вероятность ошибки; — для построения и интерпретации моделей требуется наличие профессионального опыта	— широкая доступность; — осуществляется стандартизация сравнений и прогнозирование действий; — ранняя интеграция с инженерными методами
Методы, основанные на изучении документов	Изучение существующих документов специалистом по юзабилити с целью формирования профессиональной оценки системы	— не охватывают все аспекты взаимодействия пользователя с системой; — могут требовать больших временных затрат при основательном выполнении тестирования	— требуется профессиональный опыт для получения лучших результатов; — повышается качество обмена информацией между пользователями, разработчиками, экспертами по юзабилити и улучшается согласованность
Автоматическая оценка	Алгоритмы, ориентированные на критерии пригодности использования или использование систем, основанных на знаниях эргономики, с помощью которых определяются недостатки продукта в результате сравнения с predetermined правилами	— вероятность упущения важных проблем; — требуется наличие рабочей версии прототипа	— согласованность оценок различных проектов
Экспертная оценка	Оценка, основанная на знаниях, профессионализме и практическом опыте в области эргономики специалиста по юзабилити	— могут быть пропущены важные проблемы; — требуется наличие высокой квалификации в области эргономики	— быстрота осуществления; — хорошо подходит для использования на раннем этапе проектирования; — возможность идентификации конкретных проблем и выработки решений

целей с необходимой результативностью, эффективностью и удовлетворенностью» [1].

Суть юзабилити-тестирования заключается в наблюдении за действиями пользователей во время их взаимодействия с интерактивной системой при выполнении ими реальных задач и помогает узнать, решает ли программа поставленные цели проектирования, достаточно ли она производительна, и, на самом простом уровне, могут ли пользователи выполнять свои задачи.

Удовлетворенность пользователя как одного из показателей юзабилити является субъективной характеристикой, так как зависит от мнения пользователя об удобстве работы с программой.

В свою очередь, оценка удовлетворенности может быть произведена с помощью различных методов измерений, как субъективных, так и объективных. Базовые знания и понимание ключевых отличий и принципов применения методов оценки удовлетворенности позволяет осуществить верный выбор подходящих средств для юзабилити-тестирования.

Методы оценки юзабилити подразделяются на две большие категории [2]:

- методы, предполагающие непосредственное участие пользователей (табл. 1);
- методы, предполагающие не прямое участие пользователей, которые используются в случаях отсутствия возможности собрать данные об ис-

пользовании из-за отсутствия пользователей, либо в случаях, когда они предоставляют дополнительные данные и информацию (табл. 2).

В табл. 1 и 2 приведено краткое описание методов тестирования юзабилити с преимуществами и недостатками применения.

Определение уровня субъективных реакций пользователя или его мнения выполняется с помощью субъективных измерений, реализующихся несколькими способами [3]:

- выполнение ранжирования программной продукции с использованием шкалы предпочтений в виде анкетного опроса;
- выполнение оценивания впечатлений от работы с системой в конкретный заданный период времени.

Так, для оценки удовлетворенности пользователя работой с веб-сайтами могут быть использованы следующие тестовые задания:

Задание 1. Находясь на главной странице сайта, опишите свои первые впечатления от этой страницы. Исследуйте эту страницу, вы можете осуществлять прокрутку мышью, чтобы просмотреть эту страницу, но не нажимайте на другие элементы.

Ответьте на следующие вопросы:

1. Вы когда-либо видели этот веб-сайт прежде?
2. Пожалуйста, опишите свои начальные впечатления о макете этой страницы, что вы думаете о цветах, графике, фотографиях и т.д.?

3. Опишите возможности сайта, которые вы видите на данной странице или возможности, которые предоставляет сайт по вашему мнению. Можно свободно перемещаться по странице, не нажимая на другие элементы.

4. Ни на что не нажимая, опишите, с какого элемента вы бы начали исследование данного сайта?

5. Какая цель данного сайта, по вашему мнению?

6. Для кого, по вашему мнению, предназначен этот сайт?

7. Чей это веб-сайт?

Задание 2. В течение 5 минут вы можете свободно исследовать сайт, переходить на любые разделы по вашему желанию, при этом проговорить вслух и записать последовательность всех ваших действий в течение данного времени.

Ответьте на следующие вопросы:

1. Опишите ваши общие впечатления о веб-сайте.

2. Дайте оценку сайту от 5 до 0, где 5 — образцовый сайт, а 0 — неудачный сайт, и поясните, почему.

3. Назовите три ключевых слова или особенности, которые описывает этот веб-сайт.

4. Назовите три вещи, понравившиеся на веб-сайте.

5. Назовите три вещи, не понравившиеся на веб-сайте.

6. Если бы вы могли внести одно существенное изменение в этот веб-сайт, какое изменение вы бы внесли?

7. Вы возвратились бы на этот веб-сайт самостоятельно в будущем? Почему да/почему нет? Что заставило бы вас возвращаться?

8. Есть ли материалы, которые вы хотели бы видеть добавленными на этот веб-сайт? Какие?

9. Вы рекомендовали бы этот веб-сайт коллеге, другу?

Использование данных, полученных в результате проведения тестирования с использованием предложенных заданий, позволяет определить компоненты, которые нужно усовершенствовать или заменить, чтобы улучшить работу информационной системы.

Необходимость понять логику мышления пользователей при работе с интерфейсом и привели к разработке методов определения удовлетворенности пользователя взаимодействием с различными информационными системами. Осознание и моделирование когнитивных процессов пользователей способствуют созданию и адаптации к человеческому мышлению интерфейса, позволяет осуществить качественное проектирование интерфейса с учетом запросов пользователей, их психофизиологических особенностей и условий работы. Такой интерфейс обеспечивает пользователям возможность беспрепятственной работы с максимальной удовлетворенностью как процессом, так и результатом.

#### Библиографический список

1. ISO 9241-11:1998. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs). Part 11: Guidance on usability. — Режим доступа : [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=16883](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=16883) (дата обращения: 01.09.2016).
2. ISO/TR 16982:2002. Ergonomics of human-system interaction — Usability methods supporting human-centered design. — Режим доступа : [http://www.iso.org/iso/catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=31176](http://www.iso.org/iso/catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=31176) (дата обращения: 01.09.2016).
3. With Measurable Usability Goals — We All Score. — Режим доступа : <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/resources/templates/measurable-usability-goals-template.html> (дата обращения: 01.09.2016).

**БАТЕНЬКИНА Оксана Васильевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры дизайна и технологий медиаиндустрии.

Адрес для переписки: [oksi-bat@mail.ru](mailto:oksi-bat@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 20.09.2016 г.

© О. В. Батенькина

## Книжная полка

**Керниган, Б. У. Язык программирования C / Б. У. Керниган, Д. М. Ритчи. — 2-е изд. — М. : Вильямс, 2016. — 304 с. — ISBN 978-5-8459-1874-1, 0-13-110362-8.**

Классическая книга по языку C, написанная самими разработчиками этого языка и выдержавшая в США уже 34 переиздания! Книга является как практически исчерпывающим справочником, так и учебным пособием по самому распространенному языку программирования. Предлагаемое второе издание книги было существенно переработано по сравнению с первым в связи с появлением стандарта ANSI C, для которого она частично послужила основой.

Книга не рекомендуется для чтения новичкам; для своего изучения она требует знания основ программирования и вычислительной техники. Книга предназначена для широкого круга программистов и компьютерных специалистов. Может использоваться как учебное пособие для вузов.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ EPC-ДИАГРАММ В МОДЕЛИРОВАНИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ШВЕЙНОЙ ОТРАСЛИ

Построены и проанализированы модели бизнес-процессов малых швейных предприятий при решении производственных задач в условиях неопределенности. Для разработки моделей использована нотация EPC. Построенные модели позволяют впоследствии провести имитационный эксперимент с целью изучения бизнес-процессов в динамике.

**Ключевые слова:** процессный подход, анализ бизнес-процессов, нотация EPC, функциональное моделирование, производственные службы, швейное предприятие.

Представление деятельности организации в виде совокупности бизнес-процессов является новой парадигмой в корпоративном инжиниринге [1].

Понятие бизнес-процесс лежит в основе процессного подхода к анализу и синтезу деятельности организации. Процессный подход позволяет рассматривать деятельность организации как связанную систему бизнес-процессов, каждый из которых протекает во взаимосвязи с другими бизнес-процессами или внешней средой. В настоящий момент применение процессного подхода является обязательным условием для построения Системы менеджмента качества в соответствии с требованиями стандарта ISO 9001, что особенно важно для швейных предприятий, изготавливающих детскую одежду. Практика показывает, что система управления, построенная на принципах процессного управления, является более эффективной и результативной по сравнению с равной ей по масштабу функциональной системой.

С развитием логистики акценты управления также перемещаются на бизнес-процессы. Зачастую производственные предприятия рассматривают отдельные направления хозяйственной деятельности (снабжение, производство, сбыт) изолированно друг от друга. Особенностью же логистического подхода является переход к сквозному управлению процессами. Проектирование логистической системы управления требует большой подготовительной работы по информационному обеспечению и четкой регламентации взаимоотношений между всеми участниками [2].

Отсюда следует, что задачи моделирования и анализа бизнес-процессов являются актуальными,

поскольку позволяют выявить ключевые позиции и «узкие места», дают возможность определить целесообразность внедрения и конфигурацию новых информационных технологий.

Целью данной работы являются моделирование и анализ бизнес-процессов производственно-сбытовой деятельности малых швейных предприятий. В качестве инструментария выбран метод EPC-диаграмм, поскольку описание работы, выполняемой одним отделом или сотрудником, может быть описано более адекватно при помощи EPC, чем IDEF0 или IDEF3 [3]. Нотация EPC (Event-Driven Process Chain — событийная цепочка процессов) используется для описания процессов нижнего уровня. Диаграмма процесса в нотации EPC представляет

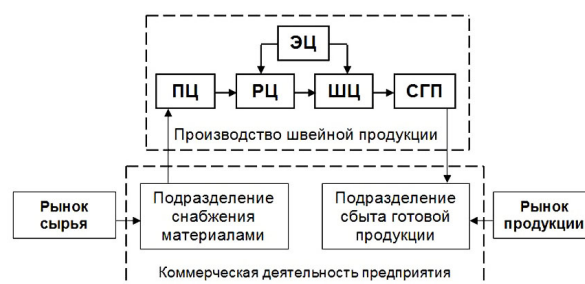


Рис. 1. Типовая структура подразделений малого швейного предприятия: ПЦ — подготовительный цех; ЭЦ — экспериментальный цех; РЦ — раскройный цех; ШЦ — швейный цех; СГП — склад готовой продукции

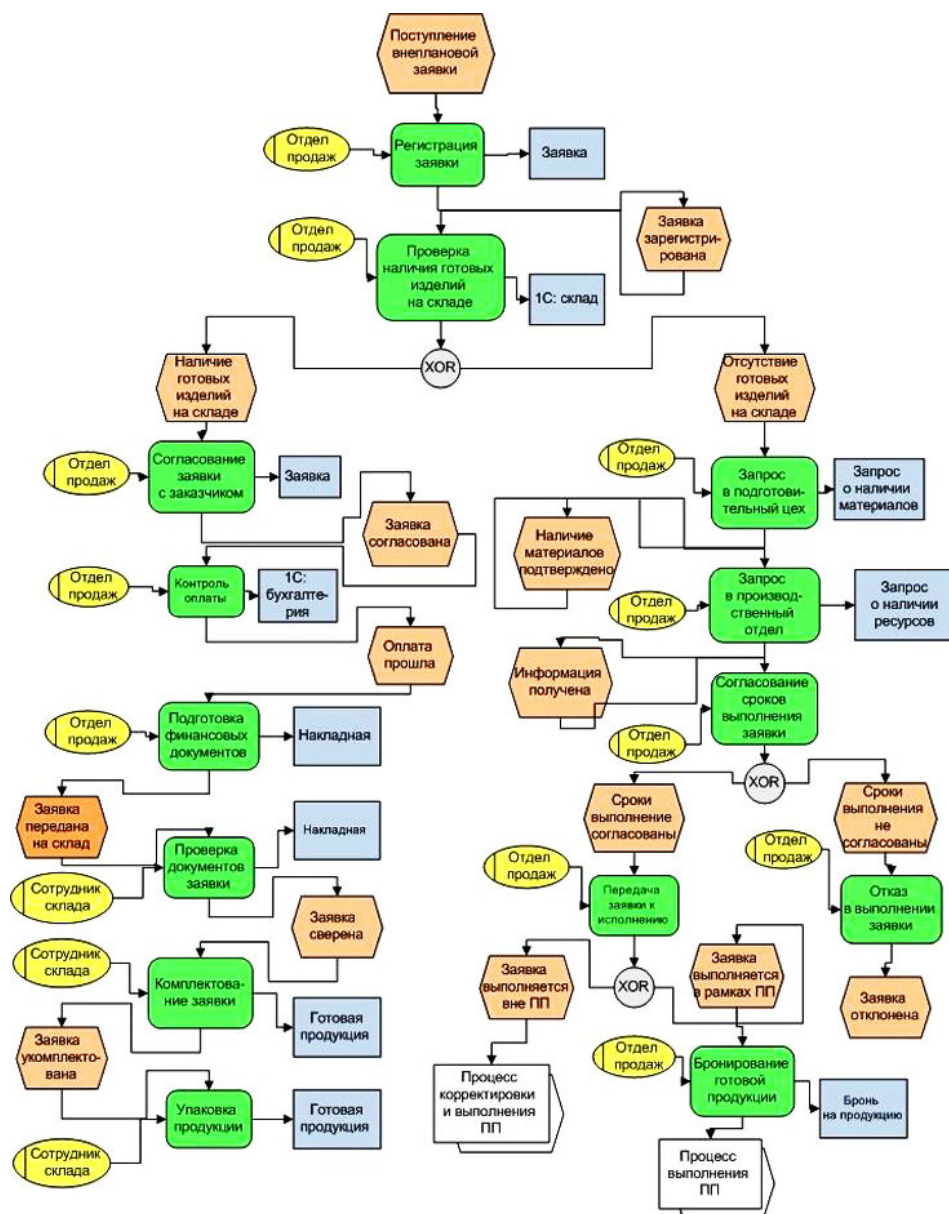


Рис. 2. Схема бизнес-процесса продажи готовой продукции

собой упорядоченную комбинацию событий и функций. Для каждой функции могут быть определены начальные и конечные события, участники, исполнители, материальные и документальные потоки, сопровождающие ее, а также проведена декомпозиция на более низкие уровни. Наличие событий позволяет осуществить проверку логической правильности создания моделей — если событие после функции не несет определенной смысловой нагрузки, то функция является лишней [4].

Рассмотрим бизнес-процессы основной деятельности малых предприятий швейной отрасли. Типовая структура подразделений, выполняющих основные функции, представлена на рис. 1.

К основным функциям производственного предприятия относятся:

- приобретение необходимых материалов;
- подготовка, хранение и отпуск материалов;
- подготовка производства;
- изготовление продукции;
- хранение продукции;
- доставка и продажа продукции потребителям.

Организационно каждое подразделение создается для выполнения определенной функции: от-

дел снабжения занимается закупом материалов; подготовительный цех (ПЦ) — подготовка, хранение и отпуск материалов; экспериментальный цех (ЭЦ) — разработка новых моделей и подготовка конструкторско-технологической документации; раскройный (РЦ) и швейный (ШЦ) цеха — изготовление продукции; склад готовой продукции (СГП) и отдел продаж — хранение и доставка продукции потребителям. В зависимости от швейного ассортимента и мощности малого предприятия некоторые подразделения могут быть объединены или исключены.

На практике процессы основной деятельности происходят в постоянном взаимодействии производственных и коммерческих подразделений.

На рис. 2 представлена схема бизнес-процесса продажи готовой продукции при поступлении внеплановой заявки. Каналы сбыта швейной продукции: оптовые и мелкооптовые заказчики; собственная торговая сеть; интернет-магазин. Таким образом, производственная программа формируется по плановым оптовым заказам и с учетом анализа продаж прошлого периода. Пусть процесс инициируется событием «Поступление внеплановой



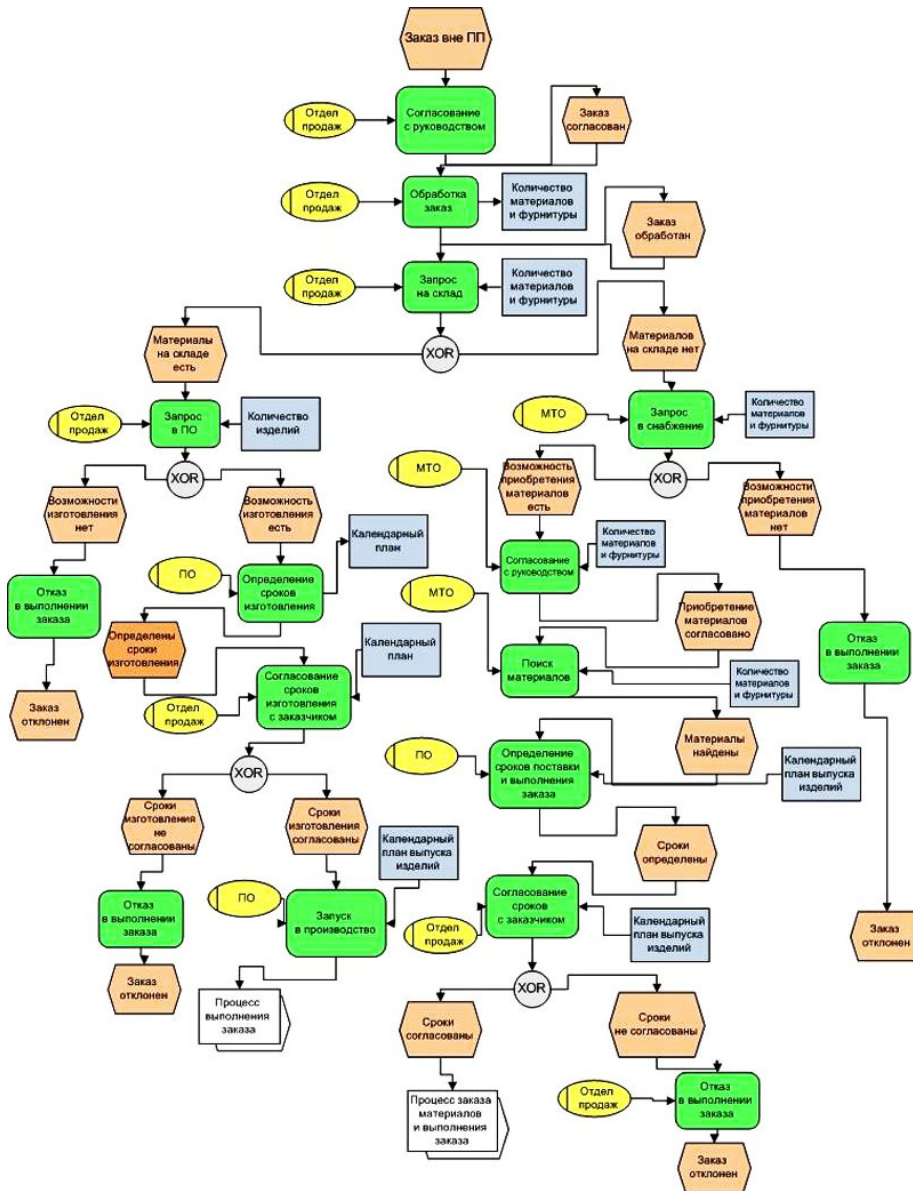


Рис. 3. Схема процесса выполнения заказа вне производственной программы

заявки». При наличии готовых изделий на складе процесс является типовым, реализуют его сотрудники отдела продаж и склада готовых изделий. В ситуации «Отсутствие готовых изделий на складе» процесс перестает быть типовым, и в этом случае требуется детальная проработка своих функций сотрудниками отдела продаж и производственных подразделений. Реализация внеплановой заявки на приобретение швейной продукции влечет за собой корректировку производственной программы (ПП), календарного плана, сроков поставки материалов и др.

Менеджер отдела продаж делает запросы в подготовительный цех о наличии необходимых материалов и в производственный отдел о возможности выполнения заказа. При получении положительной информации менеджер рассчитывает возможные сроки выполнения заказа. При условии согласования сроков выполнения заказа с потенциальным покупателем возможны два варианта развития событий: бронирование готовой продукции в рамках выполнения планового задания; включение заказа в производственную программу и корректировка

календарного плана. Во втором случае событие «Заявка выполняется вне ПП» инициирует «Процесс корректировки и выполнения ПП».

На этой и последующих схемах EPC-диаграмм — возможность моделирования альтернативных и параллельных процессов, изображение очередности работ и смену состояний объекта управления, акцентирование внимания на изменении состояний объекта и тем самым контроль необходимости функции (работы) [5].

Рассмотрим подробнее ситуацию «Заказ вне ПП» (рис. 3). Менеджер отдела продаж рассчитывает заказ на потребность в материалах и фурнитуре, и делает запрос на склад (подготовительный цех).

Далее, при наличии необходимых материалов на складе, выполняются следующие работы:

- запрос в производственный отдел (ПО) о возможности изготовления заказа — наличии свободных ресурсов — выполняет менеджер отдела продаж;
- определение сроков изготовления заказа — выполняет производственный отдел или технолог швейного цеха;

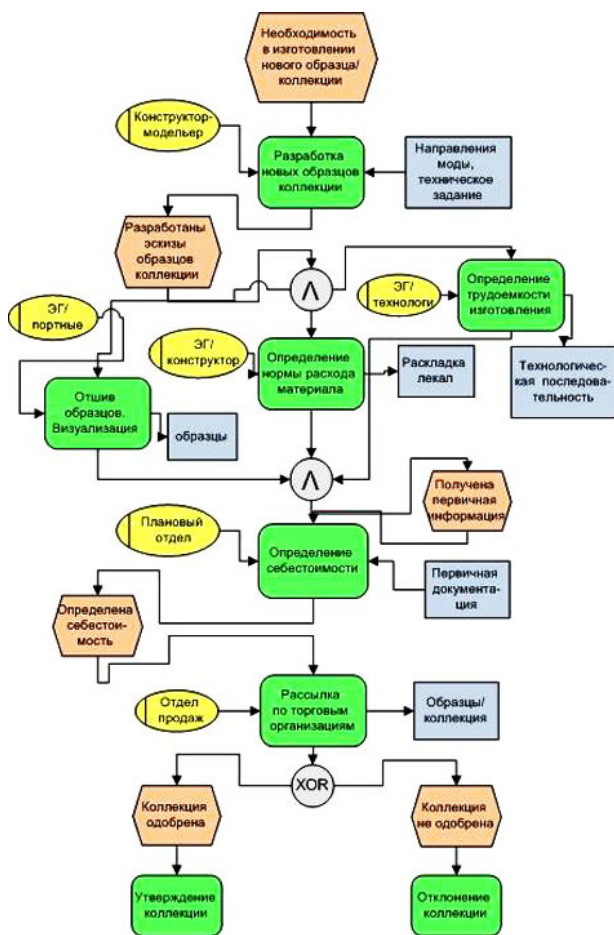


Рис. 4. Фрагмент схемы бизнес-процесса «Разработка и утверждение коллекции»

— согласование с потенциальным покупателем — менеджер отдела продаж;

— корректировка общего календарного плана — производственный отдел.

После согласования производственных вопросов инициируется процесс выполнения заказа.

В отсутствии необходимых материалов на складе срок выполнения заказа значительно удлинится. Менеджер отдела продаж делает запрос в службу материально-технического обеспечения (МТО). Возможность приобретения материалов зависит от многих факторов: наличие свободных средств на предприятии, наличие данной позиции на складе у поставщика; при условии заказа материала на текстильной фабрике — величина партии и др. В ситуации, когда имеется и согласована с руководством возможность приобретения материалов, запускается функция «Определение поставщика и сроков доставки», которую выполняет сотрудник МТО. Сотрудник отдела продаж определяет срок выполнения заказа с учетом доставки материала и согласовывает с заказчиком. В соответствии с событием заказ либо отклоняется, либо инициируется процесс приобретения материалов и выполнения заказа.

Необходимо обратить внимание на особенность, присущую EPC-диаграмме: изображая один процесс, на самом деле имеем дело с цепочкой взаимодействующих подпроцессов. Например, на рис. 3 подпроцессами являются функции «Определение поставщика и сроков доставки», «Запуск в произ-

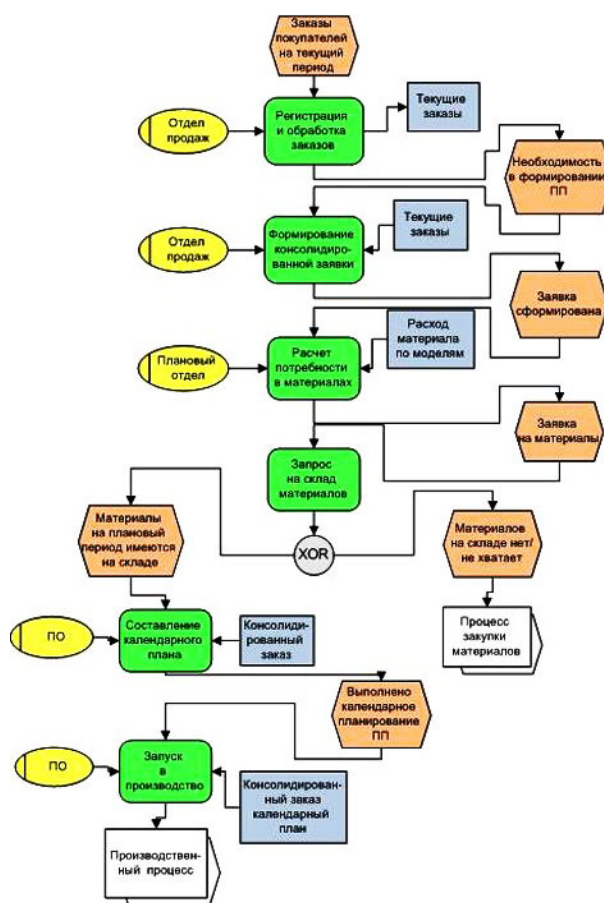


Рис. 5. Фрагмент схемы бизнес-процесса «Формирование консолидированного заказа и календарное планирование»

водство». Следовательно, для более детальной проработки бизнес-процесса требуется дальнейшая декомпозиция.

Особый интерес представляет процесс подготовки производства швейного предприятия, к которому относятся следующие работы:

- разработка коллекции в экспериментальном цехе или группе;
- согласование с торговыми организациями;
- утверждение или отклонение модели или коллекции моделей;
- разработка конструкторско-технологической документации
- сбор заявок торговых организаций;
- формирование консолидированного заказа;
- расчет и приобретение материалов и фурнитуры;
- производственно-календарное планирование.

На рис. 4 представлен фрагмент бизнес-процесса «Разработка и утверждение коллекции». В зависимости от ассортимента и мощности швейного предприятия, работающие с оптовыми заказчиками, разрабатывают от 2 до 4 коллекций в год. В данном процессе участвуют сотрудники экспериментального цеха или группы, планового отдела и отдела продаж. На EPC-схеме представлено формирование документов, необходимых для реализации процесса.

На рис. 5 показаны бизнес-процесс «Формирование консолидированного заказа и календарное планирование», в котором участвуют сотрудники

отдела продаж, снабжения, производственных подразделений.

#### **Выводы**

1. Построены функциональные модели бизнес-процессов производственно-бытовой деятельности малого швейного предприятия, которые наглядно отображают последовательность работ, начальные и конечные события, исполнителей и необходимые документы.

Построенные модели отображают процессы в статике и позволяют впоследствии провести имитационный эксперимент с целью изучения бизнес-процессов в динамике и оценки эффективности на основе анализа соответствующих выходных данных.

2. Данные модели являются основой построения интегрированной информационной системы в конкретной предметной области, объединяющей отдельные звенья логистической цепи в единую систему, способную адекватно реагировать на возмущение внешней среды.

#### **Библиографический список**

1. Шеер, А. В. Моделирование бизнес-процессов / А. В. Шеер. — М. : Вест-Мета Технология, 2000. — 173 с.
2. Рассказова, М. Н. Автоматизация проектирования оптимальных пакетов одежды с учетом теплозащитных свойств / М. Н. Рассказова, М. А. Чижик, И. А. Шевелева // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машин и технологии. — 2012. — № 2 (110). — С. 262–267.

3. Шапцев, В. А. Информационные технологии анализа и проектирования бизнес-процессов : учеб. пособие / В. А. Шапцев. — Тюмень : Изд-во ТюмГУ, 2011. — 232 с.

4. Бабкин, Э. А. Сравнительный анализ языковых средств, применяемых в методологиях бизнес-моделирования / Э. А. Бабкин, В. П. Князькин, М. С. Шиткова // Бизнес-информатика. — 2011. — № 2 (16). — С. 31–42.

5. Федоров, И. Г. Принципы формального представления поведенческой перспективы модели бизнес-процесса / И. Г. Федоров // Бизнес-информатика. — 2013. — № 2 (24). — С. 32–39.

**ЗАРИПОВА Раиса Хантемировна**, кандидат технических наук, доцент (Россия), начальник отдела по воспитательной и социальной работе со студентами Омского университета дизайна и технологии. Адрес для переписки: irbis90@list.ru

**РАССКАЗОВА Марина Николаевна**, кандидат физико-математических наук, доцент (Россия), исполняющая обязанности заведующей кафедрой прикладной информатики и математики Омского университета дизайна и технологии.

Адрес для переписки: marinarasskazova@yandex.ru  
**СТАРИКОВ Виктор Иннокентьевич**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры прикладной информатики Омского государственного технического университета.

Адрес для переписки: vicstar@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 25.05.2016 г.

© Р. Х. Зарипова, М. Н. Рассказова, В. И. Стариков

## **Книжная полка**

51/М13

**Мазалов, В. В. Математическая теория игр и приложения : учеб. пособие / В. В. Мазалов. — СПб. : Лань, 2016. — 446 с.**

Книга представляет собой учебное пособие по теории игр. Кроме традиционных разделов теории игр, таких как конечные и бесконечные антагонистические игры, бескоалиционные и кооперативные игры, многошаговые игры, здесь представлены новые направления, еще не освещавшиеся в отечественной учебной литературе, такие как модели переговоров, потенциальные игры, салонные игры, игры наилучшего выбора и сетевые игры. От читателя требуется знание основ математического анализа, алгебры и теории вероятностей. В конце каждой главы приведены упражнения, которые могут быть использованы для усвоения материала. Книга предназначена для студентов специальностей «Прикладная математика и информатика». Кроме того, она представляет интерес для математиков, работающих в области теории игр, а также специалистов в области экономики, управления и исследования операций.

004.4/Г85

**Грицай, А. С. Операционная система ANDROID для программиста : учеб. текстовое электрон. изд. локального распространения : учеб. пособие / А. С. Грицай, Д. А. Тюньков. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. — 1 эл. опт. диск (CD-ROM).**

Рассмотрены принципы разработки программного обеспечения для операционной системы Android. Приведены примеры с использованием среды разработки Android Studio. Издание может быть полезно для создания и отладки программ при выполнении студентами лабораторных работ, а также выпускных квалификационных работ по направлению «Информатика и вычислительная техника».

## ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПОРШНЕВЫХ МАШИН И АГРЕГАТОВ

В статье представлен модульный подход к математическому моделированию поршневых машин с использованием специально разработанного для этих целей программного средства. В отличие от ранее созданных вычислительных аналогов для поршневых компрессоров, предлагаемое программное средство может найти применение при разработке и создании конструкций не только компрессоров, но и пневмодвигателей, детандеров и агрегатов на их основе, поскольку оно позволяет моделировать и рассчитывать как стационарные, так и нестационарные рабочие процессы поршневых машин, динамику их механизмов движения, проводить многофакторную оптимизацию.

**Ключевые слова:** математическая модель, программное средство, поршневая машина, пневмодвигатель, самодействующий клапан, многофакторная оптимизация.

**Введение.** Поршневые энергетические машины (компрессоры, пневмодвигатели, детандеры) с самодействующими клапанами из-за сложности и взаимосвязи протекающих физических процессов не поддаются прямому теоретическому исследованию, а их экспериментальное исследование трудоёмко, длительно по времени и ограничено по возможности перенесения экспериментальных данных на машины, по своим характеристикам значительно отличающиеся от испытанных. Достаточно перспективными и апробированными методами расчета, исследования и оптимизации конструкций признаны методы математического моделирования [1].

Для математического моделирования рабочих процессов поршневых компрессоров и расширительных машин (пневмодвигателей, детандеров и агрегатов на их основе) самое широкое распространение получили модели на основе сохранения энергии тела переменной массы, материальных балансов, состояния, расхода и динамики самодействующих клапанов [1–4]. Для компрессорно-расширительных агрегатов эти уравнения дополняются уравнениями связи ступеней, учитывающие пульсации давлений и охлаждение сжатых газов в межступенчатых коммуникациях [5].

При моделировании рабочих процессов поршневых машин (компрессоров, пневмодвигателей, компрессорно-расширительных агрегатов), по существу, решалась задача моделирования одного рабочего цикла для стационарного режима работы. Пневмодвигатели (ПД), как правило, работают в условиях не постоянной внешней нагрузки и с переменным давлением сжатого воздуха на входе.

**Компоненты программного средства.** Для численного исследования поршневых машин разработано программное средство, построенное

на модульном принципе. На рис. 1 показан пример использования его для поршневых пневмодвигателей с нормально открытыми самодействующими впускными клапанами [6].

В программном средстве использованы уровни: «представление системы», определяющее структуру моделируемой машины и постановку задачи и «модель системы» — математическую модель (система дифференциальных и интегральных уравнений), которая строится автоматически по заданному представлению. Для пневмодвигателя при построении графа-представления с применением программы-визуального конструктора в разработанной библиотеке компонентов используются: «Объем», «Атмосфера», «Цилиндр», «Поршень», «Кривошипно-шатунный механизм», «Вал», «Маховик», «Нагрузка», «Привод», «Выхлопные окна», «Клапан» и другие.

Для удобства проектирования компоненты системы (вершины графа) отображаются большими прямоугольниками, соединенными связями разных типов (ребрами графа). Компоненты описаны в математической модели уравнениями, выражающими их состояния; связи (ребра графа) — это передающиеся во времени (за один шаг расчета) малые единицы массы, внутренней энергии и кинематические перемещения механических компонентов.

После задания для компонентов входных параметров и верификации соединений компонентов производится построение математической модели — для пневмодвигателя рабочего процесса, совмещенного с динамикой механизма движения [7]. Затем выполняется численный расчет.

В компоненты системы можно встраивать «виртуальные датчики» для сохранения и фиксации значений выбранных параметров, изменяющихся

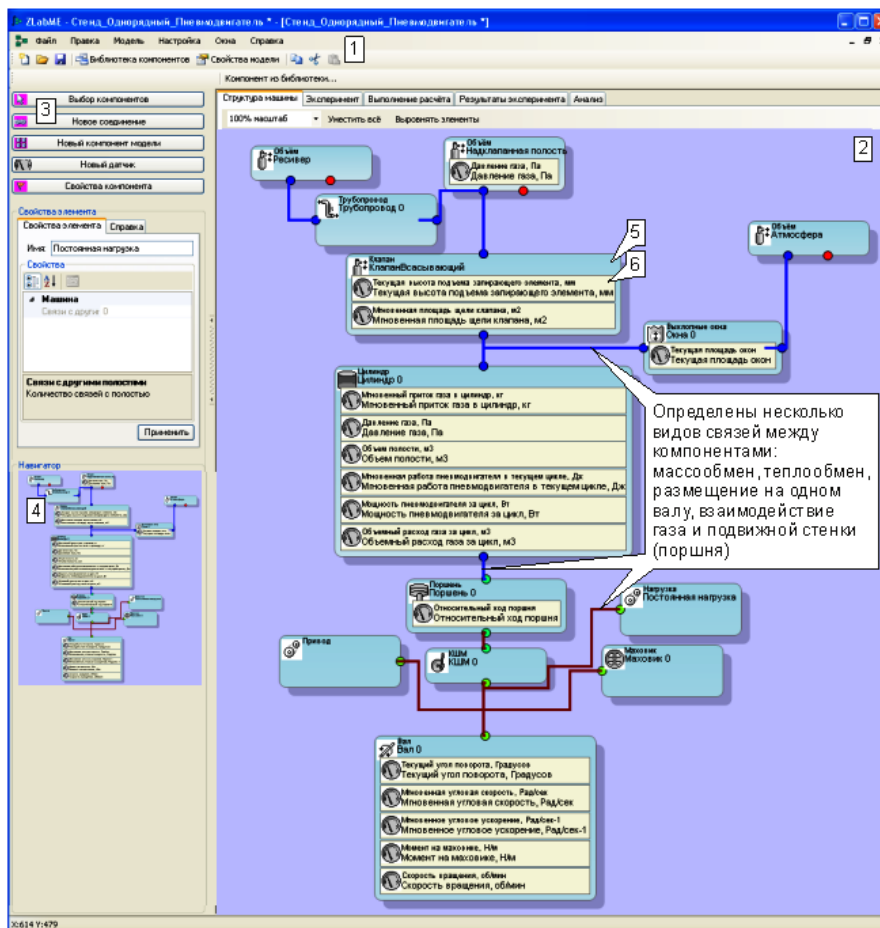


Рис. 1. Разработанная среда проектирования и визуальное представление поршневого пневмодвигателя: 1 — панель инструментов; 2 — рабочая область проектирования; 3 — панель действий; 4 — окно навигатора; 5 — размещенный компонент системы; 6 — виртуальный датчик в компоненте системы

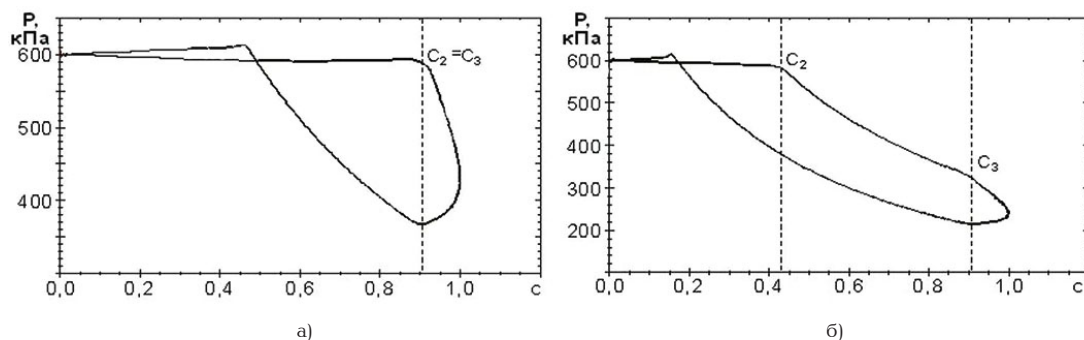


Рис. 2. Рабочие циклы одноцилиндрового ПД в различные моменты времени: а) при разгоне ПД — «форсированный режим» (длительность цикла 0,16 с); б) «экономичный» режим (длительность цикла 0,145 с)

во времени. При выполнении расчетов вычисляются также значения интегральных показателей машины и агрегатов.

**Примеры численного расчета.** Для одного из рассмотренных примеров численного расчёта наблюдалось следующее: точка отсечки наполнения цилиндра  $c_2$  воздухом (момент закрытия впускного клапана) перемещалась в сторону начала рабочего цикла (с точки, соответствующей углу поворота коленвала 152 градуса, до точки, соответствующей углу поворота 80 градусов). Т. е. режим работы ПД изменялся с «форсированного» (рис. 2), в котором

в начальные моменты времени с начала пуска закрытие впускного клапана происходило после отключения выхлопных окон к «экономичному» режиму, в котором имел место процесс расширения ( $c_2-c_3$ ). Форсированный режим, в свою очередь, в отличие от экономичного, характеризуется более высокими удельными затратами сжатого воздуха.

На рис. 3 представлены графики изменения объёмного расхода сжатого воздуха при нормальных условиях и индикаторной мощности при стационарных режимах работы пневмодвигателя в зависимости от давления сжатого воздуха на входе

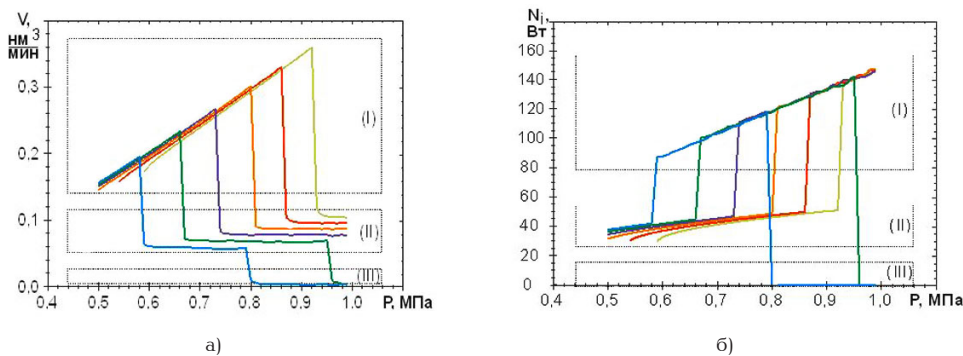


Рис. 3. Интегральные показатели работы пневмодвигателя в стационарных режимах:  
 а) объемный расход воздуха; б) индикаторная мощность;  
 (I) — область «форсированных» режимов;  
 (II) — область «экономичных» режимов; (III) — область нерабочих режимов

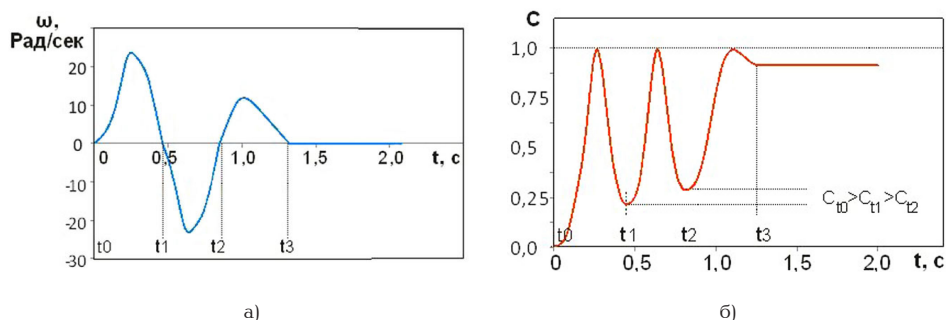


Рис. 4. Показатели работы ПД при нерабочем наборе параметров  
 (после 1,28 с вал прекращает маятниковое движение:  
 а) мгновенная угловая скорость вала, рад<sup>-1</sup>; б) относительный ход поршня

и различных жёсткостях пружин впускного клапана. На рисунках хорошо видны различия между группой «форсированных» и «экономичных» режимов работы пневмодвигателя. При повышении давления клапан закрывается раньше, чем поршень достигнет выхлопных окон. В этом случае снижается расход, увеличиваются мощность и частота вращения коленчатого вала.

Дальнейшее увеличение давления при незначительной внешней нагрузке будет способствовать тому, что впускной клапан закроется практически сразу после ВМТ, расход сжатого воздуха упадёт и однорядный двигатель перестанет функционировать (пружины жесткостью 800 и 1000 Н/м — линии синего и зелёного цвета).

В связи с тем, что в математической модели пневмодвигателя отсутствует допущение о равномерности вращения вала, то в качестве шага расчета при решении дифференциальных уравнений принимается интервал времени  $\Delta t$ , а не угол поворота вала  $d\phi$ , а для процесса моделирования задаются начальные условия и продолжительность функционирования машины  $t_{max}$ , значение которого должно быть больше времени пускового периода и выхода на стационарный режим.

**Сокращение наборов параметров при полном переборе.** Для оптимизации (с учетом разгона и выхода на стационарный режим) требуется расчет значительного количества наборов исходных конструктивных и режимных параметров. От этого набора зависит время выхода пневмодвигателя на стационарный режим. Рациональным, с точки зрения затрат машинного времени, представляется

минимизация количества моделируемых циклов работы машины.

Нужно определить, если вал ПД не начинает «вращаться» при данном наборе исходных параметров, то перейти к следующему, а если ПД «запускается», то выявить стационарный режим и вычислить значения его интегральных характеристик.

Подход к моделированию на основе компонентов для поршневых компрессоров предложен в [8]. Важной особенностью программного средства, представленного в настоящей работе, является возможность создания поршневых машин различных типов (компрессоры, пневмодвигатели, детандеры, компрессорно-расширительные агрегаты) с произвольной конфигураций по числу и назначению цилиндров.

Для поршневых пневмодвигателей критерием отсекаания нерабочих наборов исходных конструктивных и режимных параметров является последовательное уменьшение значения относительного хода поршня —  $c = S(\phi)/S$  в моменты времени смены знака угловой скорости коленчатого вала (в эти моменты времени поршень располагается ближе всего к верхней мертвой точке).

Обозначим эти моменты времени как  $t_0, t_1, t_2, \dots$ . Если в эти моменты времени относительный ход поршня начинает уменьшаться, т.е.  $c_{t_0} > c_{t_1} > \dots > c_{t_p}$ , то при данном наборе исходных данных коленвал ПД не вращается, а совершает какое-то время маятниковое движение, т.е. двигатель не запускается (рис. 4).

Для установления этого достаточно произвести проверку для момента времени  $t_2$  ( $p = 2$ ), однако

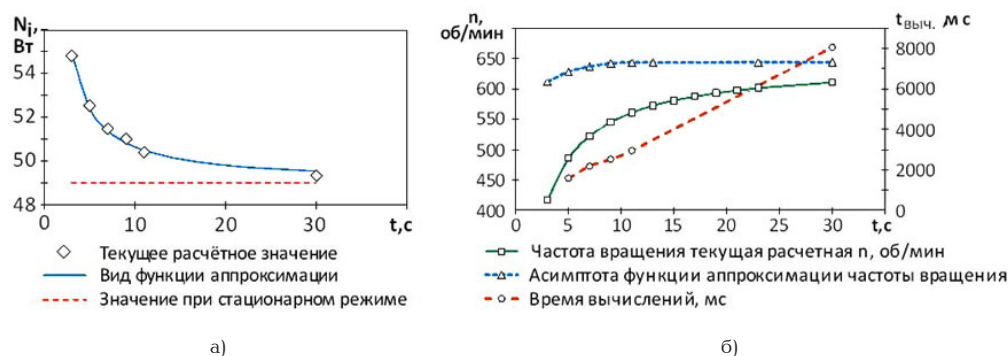


Рис. 5. К определению значений интегральных показателей пневмодвигателя в стационарном режиме: а) на примере индикаторной мощности  $N_i$ ; б) на примере частоты вращения коленвала двигателя  $n$  в зависимости от времени начала вычислений

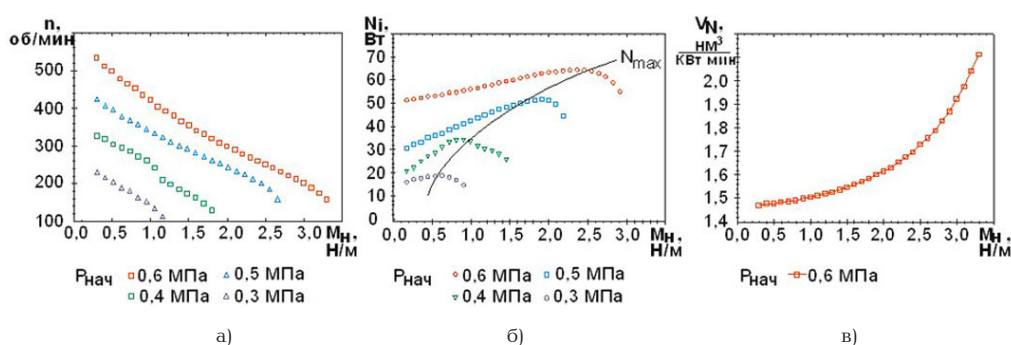


Рис. 6. Характеристики пневмодвигателя при различной нагрузке на двигатель и давлении на входе

если  $c_{i0} > c_{i1}$ , но  $c_{i1} < c_{i2}$ , то вал ПД раскручивается в обратную сторону (запускается в реверсивном режиме).

Критерием определения устойчивого (стационарного) режима работы ПД является незначительное изменение интегральных параметров от цикла к циклу. Точность приближения к стационарному режиму задаётся максимальным относительным изменением интегральных параметров  $\varepsilon = \frac{|N_i - N_{i-1}|}{N_i}$ ,

где  $N_i$  — значение какого-либо интегрального параметра двигателя (например, индикаторная мощность, частота вращения) за соответствующий номер рабочего цикла  $i$ .

**Определение необходимой продолжительности моделирования.** При проведении расчетов предлагается для определения значений интегральных показателей при выходе ПД на стационарный режим использовать следующий метод: вычислять значение асимптоты (предела) аппроксимации какого-либо интегрального параметра функцией вида  $y = \frac{a \cdot x}{b + x}$ , который равен  $l = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{a \cdot x}{b + x} = a$ .

Например, из рис. 5 следует, что определение частоты вращения  $n$  через нахождение асимптоты при аппроксимации изменения частоты вращения в виде функции указанного вида значительно точнее, чем непосредственный расчёт  $n$ .

На наш взгляд, следует также использовать значения асимптот интегральных параметров для установления требуемой продолжительности моделирования.

**Моделирование поршневого пневмодвигателя под нагрузкой.** При проведении расчетов внешняя

нагрузка на вал пневмодвигателя моделировалась в виде постоянно действующего крутящего момента. Реальная нагрузка, как правило, обладает нелинейной характеристикой, но, исходя из целей моделирования, варьируя значение крутящего момента нагрузки, можно получить характеристики пневмодвигателя, например, частоту вращения (рис. 5а) и индикаторную мощность (рис. 5б).

Для установленных внешних нагрузок в заданном диапазоне можно также подобрать начальные давления, при которых будут обеспечиваться максимумы мощности или минимальные удельные расходы сжатого воздуха (рис. 6б, в).

**Оптимизация конструкции машины полным перебором параметров.** Численная оптимизация (нахождение минимума или максимума какого-либо показателя работы поршневой машины) производилась следующим образом. Для входных параметров  $m$  ( $A_1 \dots A_m$ ) — вариантов (наборов) в соответствующих диапазонах их изменений задавались значения переменных  $\{a_1, \dots, a_k\}$  длиной  $k_i$ , после чего вычислялись значения функций интегральных параметров  $F$ . Общее количество вариантов для расчета составляло  $z = \prod_{i=1}^m k_i$ .

На рис. 7 приведены результаты оптимизации для установления максимальной индикаторной мощности пневмодвигателя по заданным наборам параметров ( $m = 2$ ): относительного мертвого пространства  $a$  (диапазон 0,1–0,5 с шагом 0,1) и начального давления  $P_{\text{нач}}$  (диапазон 0,4–0,8 МПа с шагом 0,1 МПа), с общим количеством вариантов  $z = 25$ . Там, где машина неработоспособна, индикаторная мощность  $N = 0$ . Расчет каждого варианта (режи-

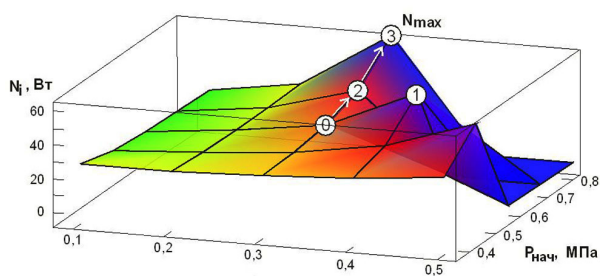


Рис. 7. Зависимость индикаторной мощности  $N$  от относительного мертвого пространства  $a$  и начального давления  $P_{нач}$

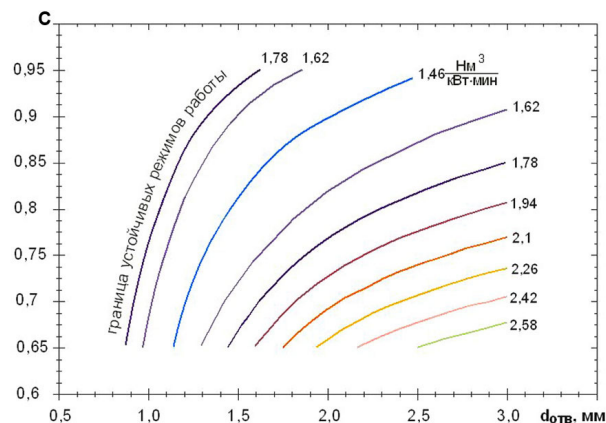


Рис. 8. Удельный расход сжатого воздуха пневмодвигателем в зависимости от диаметра окон  $d_{отв}$  и относительного удаления центра выхлопных окон  $C$  от ВМТ (длительность моделируемого процесса 15 с. Общее число рассчитанных режимов 1950, время расчета 3894 с для процессора Core2Duo L7500)

ма работы пневмодвигателя) включал расчёты, связанные с установлением работоспособности машины с выбранными наборами параметров, выходом на стационарный режим с разгоном и последующим подключением внешней нагрузки.

В общем случае для каждого интегрального параметра поршневой машины  $F$  при оптимизации строится скалярное поле  $F = f(a_1, \dots, a_m), \forall a_i \in A_i$  размерностью  $m$  с дискретным набором значений по каждой координате  $k_m = |A_i|$ . Это позволило, в частности, получить характеристические поверхности и линии уровней, например, для удельных расходов сжатого воздуха ПД в зависимости от относительного расположения  $C$  и диаметра  $d_{отв}$  выхлопных окон (рис. 8).

**Основные результаты работы.** Разработанное программное средство для моделирования рабочих процессов поршневых машин может быть использовано при разработке и создании компрессоров, пневмодвигателей, детандеров и агрегатов на их основе любых конфигураций по количеству, расположению цилиндров, формы коленчатого вала,

назначению цилиндров с самодействующими или принудительными системами газораспределения.

На примере поршневого пневмодвигателя с самодействующим впускным клапаном показано, что влияние конструктивных и режимных параметров на его интегральные показатели работы (индикаторную мощность, удельный расход сжатого газа) нелинейно и вместо ранжирования конструктивных параметров по степени их влияния более рационально проводить многофакторную оптимизацию.

#### Библиографический список

1. Пластинин, П. И. Поршневые компрессоры. В 2 т. Т. 1. Теория и расчет : учеб. пособие / П. И. Пластинин. — 3-е изд., доп. — М. : КолосС, 2006. — 456 с.
2. Поршневые компрессоры : учеб. пособие / Б. С. Фотин [и др.] ; под ред. Б. С. Фотина. — Л. : Машиностроение, 1987. — 372 с.
3. Прилуцкий, И. К. Разработка, исследование и создание компрессоров и детандеров для криогенной техники : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И. К. Прилуцкий. — Л., 1991. — 32 с.
4. Бычковский, Е. Г. Разработка и исследование поршневых пневматических двигателей с самодействующими клапанами : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. Г. Бычковский. — Омск, 2001. — 16 с.
5. Ваняшов, А. Д. Разработка и исследование поршневых детандер-компрессорных агрегатов с самодействующими воздухораспределительными органами : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Д. Ваняшов. — Омск, 1999. — 18 с.
6. Калекин, В. С. Экспериментальное исследование поршневого пневмодвигателя с самодействующими клапанами / В. С. Калекин, Д. В. Калекин, А. П. Загородников // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2008. — № 11. — С. 26–29.
7. Калекин, В. С. Математическая модель поршневого пневмодвигателя с самодействующими клапанами / В. С. Калекин, Д. В. Калекин, А. Н. Нефедченко // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2013. — № 3 (123). — С. 72–76.
8. Хрусталев, Б. С. Математическое моделирование в объемных компрессорах для решения задач автоматизированного проектирования : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Б. С. Хрусталев. — СПб., 1999. — 32 с.

**КАЛЕКИН Дмитрий Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

**ЗАГОРОДНИКОВ Антон Павлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники ОмГТУ.

**КАЛЕКИН Вячеслав Степанович**, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры двигателей Омского автобронетанкового инженерного института.

Адрес для переписки: kalekinvc@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.05.2016 г.

© Д. В. Калекин, А. П. Загородников, В. С. Калекин



# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ КОНДЕНСАТОРАХ, ОСНОВАННЫЙ НА ОБОБЩЕННЫХ ЧИСЛАХ ФИБОНАЧЧИ

Разработан универсальный алгебраический подход к синтезу преобразователей на переключаемых конденсаторах (ППК). Предложенный подход снижает потери мощности за счет увеличения числа целевых напряжений. Показано, что ППК, основанные на двоичной и Фибоначчи системах счисления, являются частными случаями предложенного подхода. Более того, данный ППК построен на основе такой же переключательной схемы, как двоичный и Фибоначчи ППК. Эта особенность позволяет задавать различные целевые напряжения и увеличить тем самым резолюцию достижимых коэффициентов преобразования. Для случая трех переключаемых конденсаторов были введены шесть новых коэффициентов преобразования в дополнение к тринадцати уже имеющимся. Теоретические результаты были подтверждены экспериментально.

**Ключевые слова:** КПД, преобразователи постоянного тока, схемы на переключаемых конденсаторах, топологии в схемах.

**I. Введение.** Преобразователи на переключаемых конденсаторах (ППК) применяются в устройствах малой мощности и могут быть реализованы на кристалле. Они не содержат магнитных элементов, что способствует снижению помех. Преобразователи имеют относительно высокий КПД при условии, что их выходное напряжение  $V_o$  близко к целевому напряжению  $V_{TRG} = M \cdot V_{in}$ , где  $M$  — это коэффициент преобразования на холостом ходу. КПД преобразователей может быть найден приблизительно как  $\eta = V_o/V_{TRG}$  и уменьшается, когда ППК нагружен. Снижение КПД происходит из-за характерных потерь мощности, представленных схемой замещения на рис. 1. Она содержит источник целевого напряжения  $V_{TRG}$  и эквивалентный резистор  $R_{eq}$ , который отражает потери в сопротивлениях ключей и ESR конденсаторов [1–2]. Упрощенная модель на рис. 1 не принимает в расчёт потери, связанные с управлением транзисторами, токами утечки и другими паразитными эффектами, которые не рассматриваются в данной работе.

Если пренебречь паразитными эффектами, высокий КПД получается при низком  $R_{eq}$ , поскольку тогда  $V_o$  будет очень близким к  $V_{TRG}$ . Часто есть необходимость поддерживать постоянное выходное напряжение при колебаниях входного или иметь различные выходные напряжения для разных режимов работы системы. Такое управление выходным напряжением может быть реализовано подстройкой  $R_{eq}$  или  $M$ , или обоих [3]. Наибольший КПД получается, если  $R_{eq}$  поддерживается низким, насколько

возможно, а  $M$  изменяет значения с маленьким шагом. Последнее, однако, является сложной задачей, поскольку  $M$  зависит от топологий ППК. Попытки ввести несколько значений для  $M$  приводили до сих пор к схемам с большим числом конденсаторов и ключей, что увеличивает потери.

Эффективный способ получить большое количество целевых напряжений — комбинация двоичного [4–5] и Фибоначчи ППК [6–7]. Поведение этой комбинации показано непрерывной линией на рис. 2, где значения по оси  $X$  — это достижимые коэффициенты преобразования. Целью этого исследования было ввести дополнительные целевые напряжения в комбинированный ППК без добавления конденсаторов или ключей. Пунктирная линия на рис. 2 показывает дополнительные пики КПД, которые получаются вставкой новых, полученных из обобщенных чисел Фибоначчи, целевых напряжений между существующими.

**II. Обобщенное Фибоначчи представление со знаком (SGF).** Предлагаемый алгебраический синтез обобщенного Фибоначчи ППК основан на новой системе счисления, описываемой в этом разделе. Обобщенные  $(h, k)$ -числа Фибоначчи [8–10] определяются для  $i \geq 2$  и  $h \leq k \leq h+1$  как:

$$F_i = F_{i-1} + F_{i-k} + (k-h), \quad (1)$$

где начальные значения  $F_{2-k} = F_{3-k} = \dots = F_0 = (h-k+1)$ , а  $F_1 = 1$ . Для  $h \leq k \leq 3$  первые восемь  $(h, k)$ -чисел Фибоначчи приведены в табл. 1. Заметим, что

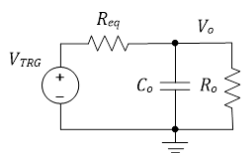


Рис. 1. Схема замещения ППК

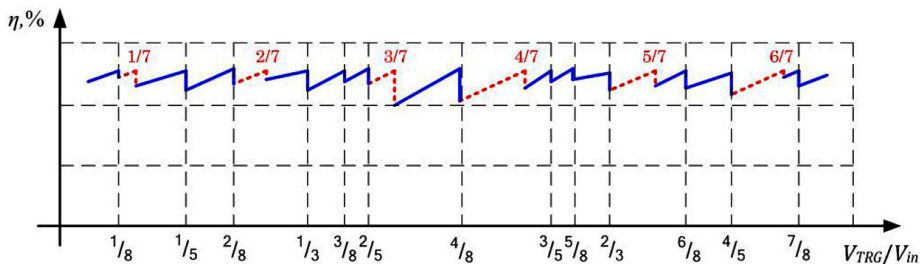


Рис. 2. Ожидаемый общий КПД

Таблица 1

Обобщенные числа Фибоначчи

<i>h</i>	<i>k</i>	Выражение	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	$F_i = 2F_{i-1}$	1	2	4	8	16	32	64	128
1	2	$F_i = F_{i-1} + F_{i-2} + 1$	1	2	4	7	12	20	33	54
2	2	$F_i = F_{i-1} + F_{i-2}$	1	2	3	5	8	13	21	55
2	3	$F_i = F_{i-1} + F_{i-3} + 1$	1	2	3	5	8	12	18	27
3	3	$F_i = F_{i-1} + F_{i-3}$	1	2	3	4	6	9	13	19

Таблица 2

(1, 2)-веса Фибоначчи для  $n=6$

<i>j</i>	0	1	2	3	4	5	6
$F_{n-j+1}$	33	20	12	7	4	2	1

первая и третья строки — это двоичная и Фибоначчи последовательности соответственно.

Согласно теореме Дайкина [8–10], любое целое число  $F_i \leq N_n < F_i + 1$  может быть однозначно представлено как сумма различных  $(h, k)$ -чисел Фибоначчи:

$$N_n = \sum_{j=0}^n A_j F_{n-j+1}, \quad (2)$$

где  $n$  — это резолюция, а коэффициенты  $A_j$  принимают значения 0 или 1. Инкрементируя индекс  $j$ , мы получим наибольшее  $(h, k)$ -число Фибоначчи  $F_{n+1}$  в крайней левой позиции, как показано в табл. 2, для  $h = 1, k = 2$  и  $n = 6$ .

Поскольку теорема Дайкина фактически обобщает теорему Цекендорфа [11], далее разложение Дайкина будет называться EZ-код. Главное отличие EZ-кода от двоичного — это то, что не все комбинации «0» и «1» разрешены.

В частности, две единицы должны быть разделены, по крайней мере,  $k-1$  нулями, с единственным исключением для двух крайних единиц справа, которые могут быть разделены  $h-1$  нулями. Например, если  $h = 2$  и  $k = 3$ , то каждая пара единиц в EZ-коде разделена, по крайней мере, двумя нулями, за исключением крайней пары справа, которая разделена, по крайней мере, одним нулем и может продолжаться строкой из нулей. Эти две разрешенные комбинации битов показаны в (3).

$$0 \underbrace{100}_{k-1} \underbrace{10100}_{h-1} \dots \quad (3)$$

Определим теперь для дробей  $M_n = N_n/F_{n+1}$ , лежащих в диапазоне  $(0, 1)$ , обобщенное Фибоначчи представление со знаком (SGF) следующим образом. Для начала нормализуем выражение (2) к наибольшему  $(h, k)$ -числу Фибоначчи  $F_{n+1}$ , а затем позволим  $A_j$  ( $j \geq 1$ ) принимать одно из трех значений 0, 1 или  $-1$ , как было сделано в [12]. Коэффициент  $A_0$  в SGF представлении, как и прежде, будет равен либо 0, либо 1. Таким образом,

$$M_n = A_0 + \sum_{j=1}^n A_j \frac{F_{n-j+1}}{F_{n+1}} \quad (4)$$

где  $n$  — это резолюция. Из-за того что  $A_j$  принимает дополнительное значение  $-1$ , одно и то же  $M_n$  может быть представлено различными SGF кодами, например:

$$4/7 = 1 - 1(4/7) + 0(2/7) + 1(1/7) \rightarrow \{1 -1 0 1\}$$

$$4/7 = 1 - 1(4/7) + 1(2/7) - 1(1/7) \rightarrow \{1 -1 1 -1\} \quad (5)$$

$$4/7 = 1 + 0(4/7) - 1(2/7) - 1(1/7) \rightarrow \{1 0 -1 -1\}$$

Эти коды получаются в соответствии с правилом, которое основано на тождестве  $2F_i = F_{i+1} + F_{i-1} - F_{i-k+1} + F_{i-k}$ . Фактически это тождество говорит о том, что сложение двух единиц в EZ-коде вызывает, в общем случае, четыре переноса. Первый перенос идет на один бит влево, второй — на один бит вправо, а третий и четвертый идут на  $k-1$  и  $k$  бит вправо соответственно. Заметим, что для  $k=1$  приведенное выше тождество сокращается до правила сложения двоичных чисел  $2F_i = F_{i+1}$ , тогда как для  $k=2$  оно сокращается до правила сложения чисел Фибоначчи  $2F_i = F_{i+1} + F_{i-2}$ .

**Правило для получения SGF кодов:**

Эта итеративная процедура начинается с EZ-кода  $M_n$ . Пропуская нули слева, добавим «1» к первому  $A_j = 1$ . Это превратит  $A_j$  в «0» и вызовет четыре переноса. Для того чтобы сохранить исходное значение  $M_n$ , добавим « $-1$ » к полученному  $A_j = 0$ , что даст новый SGF код. Описанная выше процедура повторяется для всех  $A_j = 1$  в исходном коде и для всех  $A_j = 1$  в каждом новом SGF коде.

**Следствие 1:** Минимальное количество SGF кодов для данного  $M_n$  с резолюцией  $n$  равно  $n + 1$ .

Это объясняется тем, что каждая единица в EZ-коде с резолюцией  $n$  дает новый SGF код и четыре переноса. В следующих итерациях эти переносы распространяются так, что каждый ноль в EZ-коде превращается в единицу, которая затем используется для получения нового кода. Таким образом,

SGF коды для дробей  $M_3$ ,  $h = 1, k = 2$

$M_3=1/7$				$M_3=2/7$				$M_3=3/7$				$M_3=4/7$				$M_3=5/7$				$M_3=6/7$							
$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
0	0	1	-1	0	1	-1	0	0	1	-1	1	1	-1	0	1	1	-1	1	0	1	-1	1	1	1	-1	1	1
0	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	0	0	1	-1	1	-1	1	0	-1	0	1	0	-1	1	1	0	-1	1
1	-1	-1	0	1	-1	0	-1	0	1	0	-1	1	0	-1	-1	0	1	1	-1	1	0	0	-1	1	0	0	-1

1	$4/7$	$2/7$	$1/7$	1	$4/7$	$2/7$	$1/7$	1	$4/7$	$2/7$	$1/7$
0	0	1	1	0	1	-1	1	0	1	-1	1
		+1			+1					+1	
0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
		-1			-1					-1	
0	1	-1	1	1	-1	0	0	0	1	0	-1

Рис. 3. Получение SGF кодов для  $M_3=3/7$  из EZ-кода {0 0 1 1}

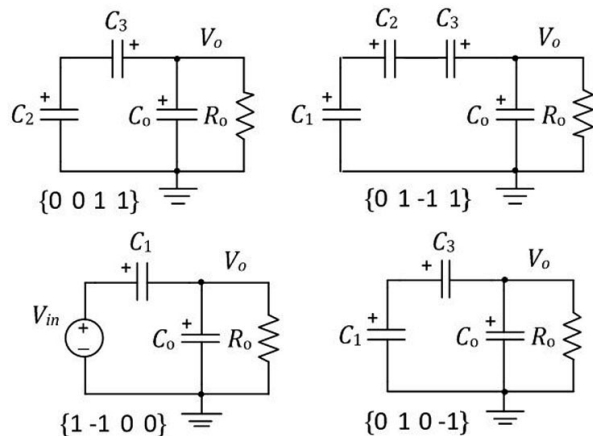


Рис. 4. Топологии обобщённого понижающего Фибоначчи ППК с коэффициентом преобразования  $M_3=3/7$

минимальное количество кодов — это исходный код плюс  $n$ , т.е.  $n + 1$ .

**Следствие 2:** Каждый  $A_j = 1$  в EZ-коде или в полученном SGF коде дает, по крайней мере, один  $A_j = -1$  в той же самой позиции  $j$  другого SGF кода. Это объясняется тем, что в процедуре получения кодов происходит замена «1» на «-1».

Пример получения трёх различных SGF кодов для  $M_3=3/7$  из (1, 2)-EZ-кода {0 0 1 1} представлен на рис. 3. Поскольку  $k=2$ , применяется сокращенное правило  $2F_i = F_{i+1} + F_{i-2}$ . Заметим, что  $F_0=0$ , и поэтому переполнения за LSB можно не учитывать. SGF коды для других  $M_3$ ,  $h=1, k=2$  приведены в табл. 3.

**III. Перевод SGF кодов в топологии ППК.** Правила для перевода SGF кодов в топологии ППК совпадают с правилами, приведенными в [4–7] для двоичного и Фибоначчи ППК. Рассмотрим понижающий ППК, который подключен к источнику входного напряжения  $V_{in}$  и содержит набор из  $n$  пере-

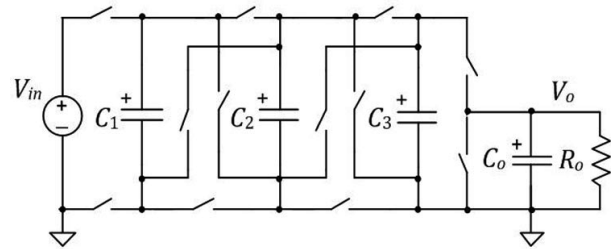


Рис. 5. Система переключателей обобщённого Фибоначчи ППК

ключаемых конденсаторов  $C_j$ , а также выходной конденсатор  $C_o$ , подключенный параллельно с нагрузкой  $R_o$ . Соединения между  $V_{in}$ ,  $C_j$  и  $C_o$  для заданного  $M_n$  осуществляются по следующим правилам:

- 1) если  $A_0 = 1$ , то  $V_{in}$  подключен и заряжает схему;
- 2) если  $A_0 = 0$ , то  $V_{in}$  не подключен;
- 3) если  $A_j = -1$ , то  $C_j$  заряжается вместе с нагрузкой;
- 4) если  $A_j = 0$ , то  $C_j$  не подключен;
- 5) если  $A_j = 1$ , то  $C_j$  разряжается на нагрузку.

Результат применения этих правил показан на рис. 4, где SGF коды для  $M_3=3/7$  переведены в топологии ППК.

Топологии на рис. 4 переключаются циклически, и через некоторое время напряжение на выходном конденсаторе достигает целевого. Предположим, что ППК работает в установившемся режиме и все конденсаторы в топологиях на рис. 4 заряжены до постоянных, но неизвестных напряжений  $V_1, V_2, V_3$  и  $V_o$ . Чтобы найти эти напряжения, мы применим второй закон Кирхгофа к каждой топологии, что приводит к следующей системе из четырех линейных уравнений:

$$\begin{cases} 0 \cdot V_{in} + 0 \cdot V_1 + 1 \cdot V_2 + 1 \cdot V_3 = V_o \\ 0 \cdot V_{in} + 1 \cdot V_1 - 1 \cdot V_2 + 1 \cdot V_3 = V_o \\ 1 \cdot V_{in} - 1 \cdot V_1 + 0 \cdot V_2 + 0 \cdot V_3 = V_o \\ 0 \cdot V_{in} + 1 \cdot V_1 + 0 \cdot V_2 - 1 \cdot V_3 = V_o \end{cases} \quad (6)$$

Решая (6), мы получим целевое и (1, 2)-Фибоначчи напряжения:  $V_o = (3/7)V_{in}$ ;  $V_1 = (4/7)V_{in}$ ;  $V_2 = (2/7)V_{in}$ ;  $V_3 = (1/7)V_{in}$  на выходном и трёх переключаемых конденсаторах соответственно. Учитывая тот факт, что система (6) имеет единственное решение, оно также должно быть, если поменять местами  $V_{in}$  и  $V_o$ . Это означает, что, подключив источник

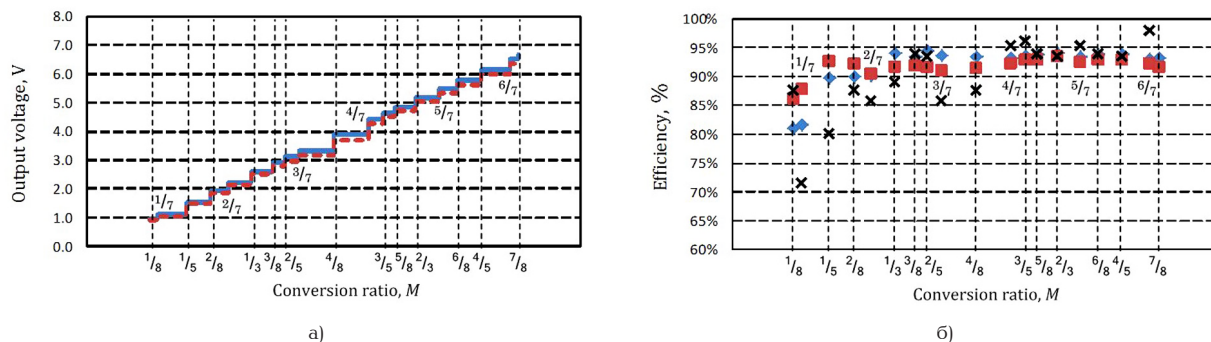


Рис. 6. Выходное напряжение (а) и КПД (б) экспериментального ППК. Верхний и нижний графики на (а), так же как ромбы и квадраты на (б), получены для  $R_o=300\Omega$  и  $R_o=100\Omega$  соответственно. Точки, обозначенные «X» на (б), оценивают минимальный КПД при регулировке между целевыми напряжениями

напряжения к выходу, а нагрузку ко входу, можно превратить понижающий ППК в повышающий. Целевое напряжение в этом случае будет обратным,  $V_o = (7/3)V_{in}$ . Для  $n$  переключаемых конденсаторов и  $h=k=2$  наибольший коэффициент преобразования равен обычному числу Фибоначчи  $F_{n+2}$ . Этот случай имеет практическое значение при необходимости построить специальный умножитель напряжения и рассматривается в [6–7].

Таким образом, для такого же числа переключаемых конденсаторов ( $n=3$ ) удалось получить шесть новых (1, 2)-Фибоначчи коэффициентов преобразования, а именно:  $\{1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7\}$  в дополнение к тринадцати уже имеющимся в двоичном и Фибоначчи ППК:  $\{1/8, 1/5, 1/4, 1/3, 3/8, 2/5, 1/2, 3/5, 5/8, 2/3, 3/4, 4/5, 7/8\}$ , что должно улучшить КПД, как показано на рис. 2.

**IV. Экспериментальные результаты.** Экспериментальный ППК построен на основе разработанной ранее [4–7] переключающей схемы (рис. 5). В ней используются двунаправленные КМОП ключи MAX4678 с сопротивлением  $1,2\Omega$ . Конденсаторы  $C_1=C_2=C_3=4,7\mu F$ ,  $C_o=470\mu F$ , а  $V_{in}=8V$ . Интервал времени, выделенный для каждой топологии, равен  $5\mu s$ . Выходное напряжение было измерено для  $R_o=300\Omega$  и  $R_o=100\Omega$  и представлено на рис. 6а) непрерывной и пунктирной линиями соответственно. КПД преобразователя представлен на рис. 6(б) для  $R_o=300\Omega$  (ромбы) и  $R_o=100\Omega$  (квадраты).

Из рис. 6б видно, что для низких коэффициентов преобразования  $M_n$  получен низкий КПД. Это объясняется тем, что в реальном ППК есть некоторые постоянные потери, влияние которых существенно при низких  $M_n$ . Ещё одно свидетельство постоянных потерь — это низкий КПД для тех же  $M_n$  при слабой нагрузке.

**V. Выводы и обсуждение.** На основе теоремы Дайкина разработано новое SGF представление, которое затем было использовано для алгебраического синтеза обобщённого Фибоначчи ППК. Этот, новый, класс ППК позволяет снизить потери мощности путём увеличения числа целевых напряжений и совместим с разработанными ранее двоичным и Фибоначчи ППК. Это позволяет увеличить плотность пиков КПД путём переключения между соседними целевыми напряжениями, которые расположены достаточно близко. Большое число различных целевых напряжений полезно как в случае нерегулируемого ППК, так и в случае регулируемого, в котором выходное напряжение поддержива-

ется постоянным при изменениях нагрузки и/или входного напряжения. В рассматриваемом ППК с тремя переключаемыми конденсаторами введены шесть новых коэффициентов преобразования в дополнение к тринадцати уже реализованным. Предложенный ППК может рассматриваться как устройство, которое решает систему линейных уравнений итерационным методом. Максимальный КПД в точках целевых напряжений ограничен эквивалентным резистором, т.е. потерями мощности. Для большинства коэффициентов преобразования экспериментальный ППК демонстрирует КПД выше 90%. Регулировка между целевыми напряжениями может осуществляться с помощью подстройки частоты и/или ШИМ, но за счёт увеличения потерь [1–3], что означает снижение КПД. Учитывая, однако, близкое расстояние между целевыми напряжениями ожидаемое снижение КПД довольно незначительно. Регулировка между  $1/7$  и  $1/5$  (рис. 6б) происходит с наибольшими потерями. Из соотношения  $\eta = V_o/V_{TRG}$  минимальный КПД (перед достижением  $1/7$ ) равен 71,4%. Для этого же интервала минимальный КПД Фибоначчи ППК [6, 7] будет 62,5%. Следовательно, достигнуто значительное улучшение даже при очень низких коэффициентах преобразования. Минимальный КПД для высоких коэффициентов преобразования значительно выше. Таким образом, предложенное обобщение улучшает производительность ППК. Важно отметить, что это улучшение получено без увеличения стоимости схемы, поскольку нет необходимости в дополнительных ключах и/или конденсаторах.

**Благодарности.** Первый автор хотел бы поблагодарить д-ра Моше Шварца (университет Бен-Гуриона) за популярную интерпретацию результатов Дайкина. Эта работа была выполнена при поддержке Израильского научного фонда (ISF), грант № 476/08 и № 517/11.

#### Библиографический список

1. S. Ben-Yaakov and M. Evtzelman, Generic and unified model of switched capacitor converters, IEEE Energy Conversion Congress and Expo. (ECCE) 2009, pp. 3501–3508.
2. S. Ben-Yaakov, On the influence of switch resistances on switched capacitor converter losses, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 59, no.1, 2012, pp. 638–640.
3. S. Ben-Yaakov and A. Kushnerov, Analysis and implementation of output voltage regulation in multi-phase switched capacitor converters, IEEE Energy Conversion Congress and Expo. (ECCE) 2011, pp. 3350–3353.

4. S. Ben-Yaakov and A. Kushnerov, Algebraic foundation of self-adjusting switched capacitor converters, IEEE Energy Conversion Congress and Expo. (ECCE) 2009, pp.1582–1589.

5. A. Kushnerov, High-efficiency self-adjusting switched capacitor DC-DC converter with binary resolution, M.Sc. thesis, Ben-Gurion University of the Negev, 2009, 115 p.

6. A. Kushnerov and S. Ben-Yaakov, Algebraic synthesis of Fibonacci switched capacitor converters, IEEE Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems (COMCAS) 2011, pp. 1–4.

7. A. Kushnerov and S. Ben-Yaakov, The best of both worlds: Fibonacci and binary switched capacitor converters combined, IET Power Electronics, Machines and Drives Conference (PEMD) 2012, pp. 1–5.

8. D. E. Daykin, Representation of natural numbers as sums of generalised Fibonacci numbers, J. London Math. Soc., 35, 1960, pp. 143–160.

9. D. E. Daykin, Representation of natural numbers as sums of generalized Fibonacci numbers – II, The Fibonacci Quarterly, Vol. 7, no. 5, 1969, pp. 494–509.

10. V. Loahakosol and J. Chalermchai, Representing natural numbers as unique sums of positive integers, J. Korea Soc. Math. Edu. Ser. B, Vol. 11, no. 1, 2004, pp. 63–72.

11. J. L. Brown, Zeckendorf's theorem and some applications, Fibonacci Quarterly, Vol. 2, no. 3, 1964, pp. 163–168.

12. P. Ligonides and R. Newcomb, Multilevel Fibonacci conversion and addition, Fibonacci Quarterly, Vol. 22, no. 3, 1984, pp. 196–203.

**КУШНЕРОВ Александр Дмитриевич**, аспирант.  
**ШМУЭЛЬ Бен-Яков**, PhD, профессор.  
Адрес для переписки: kushnero@ee.bgu.ac.il

Статья поступила в редакцию 27.06.2016 г.

© А. Д. Кушнеров, Ш. Бен-Яков

УДК 004.9

**А. С. ЩЕГОЛЕВА**  
**Е. Т. ГЕГЕЧКОРИ**

Омский государственный  
технический университет

## РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОВЕДЕНИИ РЕИНЖИНИРИНГА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Рассмотрены вопросы выбора адекватных информационных средств, используемых в реинжиниринге бизнес-процессов. Предложены общие подходы к анализу этой проблематики, переосмыслена роль ключевых факторов успеха реинжиниринга, выделены три категории изменений, которые обеспечивают использование информационных технологий, подтверждена необходимость визуализации процесса при его проектировании и внедрении. Предложенные подходы позволили расставить четкие приоритеты в процессах реинжиниринга.

**Ключевые слова:** реинжиниринг, процессный подход, бизнес-процессы, проект.

Термин «реинжиниринг» был введен Майклом Хаммером. Реинжиниринг — это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование деловых процессов для достижения резких, скачкообразных улучшений главных современных показателей деятельности компании, таких как стоимость, качество, сервис и темпы.

Реинжиниринг подразумевает перепроектирование процессов, которое позволяет перевести предприятие в более эффективный режим работы. На самом деле понятие «реинжиниринг» трактуется его основателями как комплексное и кардинальное преобразование всего бизнеса, создание совершенно новых, более эффективных бизнес-процессов без учета того, что было раньше. Реинжиниринг бизнес-процессов использует большое количество инструментов и методов внутри обычной струк-

туры, но его фокус, прежде всего, направлен на объединение функций на макроорганизационном уровне. Это означает, что subprocesses могут содержаться в рамках одной функции или подразделения, и к ним тоже возможно применить реинжиниринг бизнес-процессов [1].

Бизнес-процесс (БП) — это совокупность взаимосвязанных операций по изготовлению готовой продукции или выполнению услуг на основе потребления ресурсов. Управлять бизнес-процессами — значит, качественно обслуживать потребителей или клиентов. Все финансовые, материальные, и информационные потоки в ходе управления бизнес-процессами всегда рассматриваются во взаимодействии.

Особо важным моментом является то, что объектом реинжиниринга являются сами процессы,

а не организации. Компании подвергают реинжинирингу работу, выполняемую персоналом отделов продаж или подразделений производства.

Задачи реинжиниринга следующие:

- объединить информационные ресурсы структурных подразделений компании;
- создать интегрированную корпоративную информационную систему управления [1].

Ниже перечислены необходимые свойства интегрированной корпоративной информационной системы управления:

- функционирование в реальном масштабе времени;
- общее снижение затрат;
- базирование на объективных данных о материальных и финансовых потоках во всех сферах хозяйственной деятельности компании;
- гибкое реагирование на изменения ситуации на рынке [2].

Применение реинжиниринга целесообразно для следующих трех типов организаций:

- организаций, находящихся в кризисном состоянии. Для них это способ ухода от нависшего разорения.
- фирм, руководители которых предвидят трудности своего развития при разработке инновационных стратегий. Появление новых конкурентов или изменение их поведения, рост требований клиентов, изменение поставок и пр.
- компаний-лидеров, проводящих агрессивную инновационную политику. Они не видят проблем ни сейчас, ни в обозримом будущем, желают добиться большего и связывают это с реинжинирингом [3].

К факторам успеха реинжиниринга относятся:

- компетентное руководство, способное мотивировать проект, выделить приоритеты и провести его «сверху вниз»;
- поддержка проекта сотрудниками фирмы;
- прозрачность проекта, понятные результаты и приемлемый риск;
- наличие автономного бюджета проекта;
- технологическая поддержка и консультационное сопровождение.

Реинжиниринг бизнес-процессов можно разделить на пять этапов: предплановая подготовка компании, стратегическое планирование, перепроектирование процессов, прогнозирование и последний этап — конверсия [4].

Ключевые факторы успеха реинжиниринга заключаются в следующем:

1. Четкое понимание задачи руководителями организации.
2. Мотивация сотрудников компании, нацеленность на рост, расширение деятельности компании.
3. Хорошо поставленное управление деятельностью компании.
4. Способность собственными силами при привлечении консультантов выполнить РБП.
5. Серьезная методологическая основа при проведении РБП.
6. Использование опыта реорганизации предприятий, накопленного консалтинговыми организациями.
7. Использование современных информационных технологий (ИТ) [5].

Современные информационные технологии являются главной составляющей любого реинжинирингового мероприятия, существенный фактор его успеха. Неправильное использование информацио-

ных технологий может привести к отторжению реинжиниринга, усилить старые способы мышления и прежние стереотипы поведения.

В настоящее время информационные технологии — это способ, с помощью которого информация передается и предлагается клиентам. Информация стала важной составляющей частью товаров и услуг, поставляемых компаниями на рынок. Стратегическая цель информационных технологий заключается в том, чтобы способствовать менеджменту, реагировать на динамику рынка, создавать, поддерживать и углублять конкурентное преимущество.

Тщательно подобранная и наилучшим способом внедренная технология позволяет достичь радикальных результатов в реинжиниринге. Это означает, что технология — вовсе не то, что принимается во внимание после реинжиниринга процессов. Осознание и учет возможностей технологии управляет разработкой нового дизайна процессов. Учет и применение технологических особенностей начинается с визуализации процесса, проходит сквозь его проектирование и внедрение.

Информационные технологии создают ключевые предпосылки для реинжиниринга бизнес-процессов, предлагают новые решения для выполнения тех или иных процессов. Показывают, как будет лучше, например, по сравнению с тем, когда информационные технологии не использовались вообще.

Реинжиниринг бизнес-процессов требует более широкого взгляда на информационные технологии, бизнес-операции и связь между ними. В настоящее время информационные технологии рассматриваются как инструмент фундаментального реформирования способов, какими работа выполняется, а не просто как автоматизация или механизация.

Существуют три категории изменений, которые обеспечивает использование информационных технологий:

- изменения, позволяющие улучшить временные характеристики процессов без модификации их содержания. Такие изменения позволяют автоматизировать работу, сократить ручной труд, выполнять анализ данных новыми методами, осуществление которых вручную просто невозможно. Конечно, эти методы не являются революционными, но их значимость несомненна;
- изменения, охватывающие случаи реорганизации последовательности шагов по выполнению задач в бизнес-процессах;
- изменения, которые позволяют осуществлять контроль каждого конкретного экземпляра процесса и выявлять места, где возникают какие-либо проблемы [5].

Вне всяких сомнений, роль информационных технологий в проведении реинжиниринга очень важна, но необходимо понимать, что это не единственный важный компонент реинжиниринга.

Реинжиниринг бизнес-процессов занимает особое место среди методов, которые позволяют оптимизировать систему деловых процессов организации, и представляет собой одну из наиболее эффективных инноваций в управлении компанией.

Задачи, решаемые в процессе реинжиниринга, характеризуются высокой степенью сложности и большой ответственностью. Осуществить успешно реинжиниринг без твердой методологической и технологической основы невозможно, но современные технологии не стоят на месте, что вселяет уверенность в дальнейшем прогрессе в этой области.

В заключение необходимо отметить, что, несмотря на то что предложенные подходы убедительно доказывают важную роль информационных технологий в проведении РБП, тем не менее необходимо отдавать себе отчет в том, что это не единственный компонент реинжиниринга — требуется системный подход, чем очень часто пренебрегают на практике.

#### Библиографический список

1. Оболенский, Н. Практический реинжиниринг бизнеса. Инструменты и методы для эффективного изменения / Н. Оболенский. — М. : Эко-Трендз, 2004. — 176 с.
2. Елиферов, В. Г. Бизнес-процессы. Регламентация и управление : учеб. / В. Г. Елиферов, В. В. Репин. — М. : ИНФРА-М, 2005. — 319 с.
3. Хаммер, М. Быстрее, лучше, дешевле. Девять методов реинжиниринга бизнес-процессов / М. Хаммер, Л. Хершман. — М. : ИНФРА-М, 2015. — 207 с.
4. Хаммер, М. Реинжиниринг корпорации. Манифест революции в бизнесе = Reengineering the corporation:

A manifesto for business revolution / М. Хаммер, Д. Чампи. — N. Y. : Harper-Collins, 2003. — 272 с.

5. Андерсен, Б. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования / Б. Андерсен ; пер. с англ. С. В. Ариничева. — М. : Стандарты и качество, 2003. — 272 с.

**ЩЁГОЛЕВА Алина Сергеевна**, магистрант гр. ПИМ-151 факультета элитного образования и магистратуры Омского государственного технического университета (ОмГТУ); бизнес-аналитик ООО «Ястро», г. Омск.

Адрес для переписки: [alina\\_sergeevna\\_shch@mail.ru](mailto:alina_sergeevna_shch@mail.ru)  
**ГЕГЕЧКОРИ Евгений Трдатович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры математических методов и информационных технологий в экономике ОмГТУ.

Адрес для переписки: [getnbn@inbox.ru](mailto:getnbn@inbox.ru)

Статья поступила в редакцию 27.06.2016 г.

© А. С. Щёголева, Е. Т. Гегечкори

## Книжная полка

**Никсон, Р. Создаем динамические веб-сайты с помощью PHP, MySQL, JavaScript, CSS и HTML5 / Р. Никсон. — 4-е изд. — СПб. : Питер, 2016. — 768 с. — ISBN 978-5-496-02146-3.**

Новое издание признанного бестселлера, охватывающего как клиентские, так и серверные аспекты веб-разработки. Эта книга поможет вам освоить динамическое веб-программирование с применением самых современных технологий. Книга изобилует ценными практическими советами, содержит исчерпывающий теоретический материал. Для закрепления материала автор рассказывает, как создать полнофункциональный сайт, работающий по принципу социальной сети.

- Изучите важнейшие аспекты языка PHP и основы объектно-ориентированного программирования.
- Познакомьтесь с базой данных MySQL.
- Управляйте cookie-файлами и сессиями, обеспечивайте высокий уровень безопасности.
- Пользуйтесь фундаментальными возможностями языка JavaScript.
- Применяйте вызовы AJAX, чтобы значительно повысить динамику вашего сайта.
- Изучите основы CSS для форматирования и оформления ваших страниц.
- Освойте продвинутые возможности HTML5: геолокацию, обработку аудио и видео, отрисовку на холсте.

**Керниган, Б. У. Практика программирования / Б. У. Керниган, Р. Пайк ; пер. с англ. В. Бродовой. — М. : Вильямс, 2015. — 288 с. — ISBN 5-8459-0679-2, 0-201-61586-X, 978-5-8459-2005-8.**

В книге рассматриваются принципы практического профессионального программирования, которые, выходя за рамки простого написания кода, включают в себя проектирование, правильный выбор алгоритмов и структур данных, отладку и тестирование, оптимизацию быстродействия и переносимости, автоматизацию рабочего процесса. Изложение проиллюстрировано примерами из сложных, практически важных систем.

Книга предназначена для повышения квалификации программистов. Может быть полезна студентам и преподавателям компьютерных специальностей.

**Шилдт, Г. С# 4.0. Полное руководство / Г. Шилдт ; пер. с англ. И. Берштейн. — М. : Вильямс, 2015. — 1056 с. — ISBN 978-5-8459-1684-6, 0-07-174116-X, 978-5-8459-2015-7.**

В этом полном руководстве по С# 4.0 — языку программирования, разработанному специально для среды .NET, — детально рассмотрены все основные средства языка: типы данных, операторы, управляющие операторы, классы, интерфейсы, методы, делегаты, индексаторы, события, указатели, обобщения, коллекции, основные библиотеки классов, средства многопоточного программирования и директивы пре-процессора. Подробно описаны новые возможности С#, в том числе PLINQ, библиотека TPL, динамический тип данных, а также именованные и необязательные аргументы. Это справочное пособие снабжено массой полезных советов авторитетного автора и сотнями примеров программ с комментариями, благодаря которым они становятся понятными любому читателю независимо от уровня его подготовки.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся программированием на С#.